

Dimensionamento e Análise Estrutural de uma Cortina de Água e de um Tecto Interior Flutuante

Petróleos de Portugal – Petrogal S.A.

Paulo Tiago Lopes Pereira

Relatório do Projecto Final

Orientador na Petrogal: Eng. João Franco

Orientador na FEUP: Prof. Renato Natal



**Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica**

06/2011

Resumo

Neste Relatório de Projecto final encontra-se a realização de dois projectos distintos no âmbito do estágio decorrido na empresa Petrogal.

O primeiro projecto baseia-se no dimensionamento teórico e análise estrutural estática e dinâmica de uma cortina de água para isolamento de fornalhas através de programas que utilizam o método de elementos finitos.

O segundo projecto centra-se na discussão de possíveis alternativas de três materiais distintos na construção e dimensionamento de um tecto interior flutuante num tanque de armazenamento de tecto fixo, através de pesquisa bibliográfica e posteriormente por análise estrutural num programa que recorre ao método dos elementos finitos.

Os projectos realizados foram bastantes enriquecedores em resultados e discussão podendo-se chegar a alternativas reais e coerentes. Nos Anexos, em CD encontram-se desenhos de construção, normas usadas, artigos consultados e os programas construídos.

Abstract

This work consists in the achievement of two distinct projects made in the Petrogal oil company.

The first project is about the design and the structural analysis of a water curtain for furnaces isolation through Finite Element Method Software.

The second project focus on the selection and comparison of three possible construction materials for the design of an Internal Floating Roof in a Fixed Roof Tank, through articles research and though structural analysis in a Finite Element Method Software.

Both of the projects where truly enriching in results and discussions, becoming an important source for alternative solutions of the actual structures. Also, this work included the projects drawings, the international standards used, consulted articles and the software programs in a CD.

Agradecimentos

Este trabalho não poderia ser feito sem a ajuda de diversas pessoas, às quais presto minha homenagem:

Ao orientador na Petrogal, Eng. João Franco pela oportunidade e apoio ao longo destes meses de estágio. Ao Eng. Tiago Faria pelo tempo despendido, preocupação e cooperação. Aos incansáveis Albino Costa, Aly Said e Mário Cerqueira da Gestão de Projectos pela disponibilidade e vontade em me ajudarem. Ao Manuel Maria pela experiência, tempo e ajuda imprescindível.

Ao orientador na FEUP, o Professor Renato Natal por ter o tempo para ser meu orientador e disponibilizar sempre ajuda na execução deste Relatório de Estágio.

À minha família e amigos pela paciência e amizade.

A todos um muito obrigado.

Índice Geral

Capítulo 1 – Introdução	1
1.1 Petróleos de Portugal – Petrogal S.A.....	1
1.2 Dimensionamento e Análise Estrutural de uma Cortina de Água	2
1.3 Tectos Interiores Flutuantes – Análise de Materiais e Dimensionamento	2
Capítulo 2 - Cortinas de Água	4
2.1 Estrutura	5
2.2 Envolvente	6
2.3 Funcionamento	6
2.4 Materiais	6
2.5 Dimensionamento Teórico da Cortina de Água	7
2.5.1 Cálculo do diâmetro da tubulação	7
2.5.2 A tubulação considerada como elemento mecânico	7
2.5.3 Normas de projecto de tubulação	9
2.5.4 Cálculo da espessura da parede	10
2.5.5 Cálculo do vão máximo entre suportes	10
2.5.6 Dilatação térmica e flexibilidade das tubulações	13
2.6 Cálculos e Dados Estruturais da Cortina de Água.....	14
2.7 Dimensionamento 3D	16
2.7.1 Conjunto	16
2.8 Soluções Estruturais Possíveis.....	18
2.8.1 Solução 1 - Estrutura sem apoios	18
2.8.2 Solução 2 – Estrutura actualmente	18
2.8.3 Solução 3	19
2.8.4 Solução 3.1	19
2.8.5 Solução 4	20
2.8.6 Solução 4.1	20
2.9 Análise MEF.....	21
2.9.1 Matlab e Multiframe – Solução 1	22
2.9.2 Matlab e Multiframe – Solução 2	23
2.9.3 Matlab e Multiframe – Solução 3	24
2.9.4 Matlab e Multiframe – Solução 31	25
2.9.5 Matlab e Multiframe – Solução 4	26

2.9.6 Matlab e Multiframe – Solução 41	27
2.10 Análise de Vibrações Livres - MEF	28
2.11 Resultados.....	28
2.12 Discussão e Conclusão	29
Capítulo 3 – Tecto Interior Flutuante	30
3.1 Produto a Armazenar - Nafta.....	31
3.1.1 Propriedades	31
3.1.2 Materiais e corrosão.....	32
3.2 Tanques de Armazenamento de Tecto Fixo com Tecto Interior Flutuante	32
3.2.1 Dimensionamento – Normas e Segurança.....	33
3.2.2 Dimensões e Materiais de Construção	34
Material de Construção – Aço (A36)	35
Material de Construção – Alumínio (AA 6061).....	35
Material de Construção – Compósito <i>DynaGlass</i> ® (Plástico Reforçado de Fibras de Vidro – G10 FR4).....	36
3.3 Análise Estrutural – MEF	37
3.3.1 Material – Aço	38
3.3.2 Material – Alumínio Liga 6061	39
3.3.3 Material - <i>DynaGlass</i> ®	40
3.4 Resultados.....	41
3.5 Discussão e Conclusão	42
Capítulo 4 – Síntese, Conclusões e Sugestões para Trabalhos Futuros	44
Referências e Bibliografia	45
Anexo A.....	48
Anexo B.....	49
Anexo C.....	50
Anexo D.....	51
Anexo E.....	52
Anexo F	53
Anexo G.....	55
Anexo H.....	56

Índice de Ilustrações

Ilustração 1 – Cortina de Água sem apoios, dimensionada no software de modelação <i>SolidWorks</i> ®.....	5
Ilustração 2 - Bicos/ <i>Sprinklers</i>	6
Ilustração 3 - Cortina de Água.....	6
Ilustração 4 – Conjunto em <i>SolidWorks</i> ®	16
Ilustração 5 – Conjunto em <i>SolidWorks</i> ®	16
Ilustração 6 – Conjunto em <i>SolidWorks</i> ®	17
Ilustração 7 – Conjunto em <i>SolidWorks</i> ®	17
Ilustração 8 – Solução 1 – Estrutura sem Apoios; Azul: Tubagem 6”; Verde: Tubagem 8”;	18
Ilustração 9 – Solução 2 – Estrutura Actualmente; Azul: Tubagem 6”; Verde: Tubagem 8”; Vermelho: Apoio Duplo HEA 100;.....	18
Ilustração 10 – Solução 3; Azul: Tubagem 6”; Verde: Tubagem 8”; Vermelho: Apoio Encastrado HEA 100;	19
Ilustração 11 – Solução 3.1; Azul: Apoios Encastrados HEA 100; Verde: Tubagem 8”; Vermelho: Tubagem 6”;	19
Ilustração 12 – Solução 4; Azul: Tubagem 6”; Verde: Tubagem 8”; Vermelho: Apoio Encastrado e Apoio Duplo HEA 100;	20
Ilustração 13 - Solução 4.1; Azul: Tubagem 6”; Verde: Tubagem 8”; Vermelho: Apoios Encastrados e Apoio Duplo HEA 100;.....	20
Ilustração 14 – Deformadas - Gráfico – Solução 1	22
Ilustração 15 – Deformada – Solução 1	22
Ilustração 16 – Deformadas – Gráfico – Solução 2.....	23
Ilustração 17 – Deformada – Solução 2	23
Ilustração 18 – Deformadas – Gráfico – Solução 3.....	24
Ilustração 19 – Deformada – Solução 3	24
Ilustração 20 – Deformadas – Gráfico – Solução 31	25
Ilustração 21 - Deformada - Solução 31	25
Ilustração 22 – Deformadas – Gráfico – Solução 4.....	26
Ilustração 23 – Deformada – Solução 4	26
Ilustração 24 – Deformadas – Gráfico – Solução 41	27
Ilustração 25 – Deformada – Solução 41	27
Ilustração 26 – Tecto Exterior Flutuante e Tecto Interior Flutuante	32
Ilustração 27 - Tanque de Armazenamento com Tecto Interior Flutuante.....	34

Ilustração 28 - Deformada Matlab - Material Aço - Peso Próprio	38
Ilustração 29 - Deformada Matlab - Material Alumínio – Liga 6061 - Peso Próprio	39
Ilustração 30 - Deformada Matlab - Material Compósito - Peso Próprio	40
Ilustração 31 - Gráfico da Deformada – TIF – Peso Próprio.....	41
Ilustração 32 - Variação Comprimento da Placa - TIF.....	41
Ilustração 33 - Deformada dos vários materiais em teste no âmbito do TIF após solicitação de -10 KN/m^2	42
Ilustração 34 – Diferença entre o volume de armazenamento entre um tecto exterior flutuante e um tecto interior flutuante	53

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Dados da Tubagem	14
Tabela 2 – Três primeiros modos de vibração em todas as soluções – (Hz).....	28
Tabela 3 – Resultados das deformadas em todas as soluções	28
Tabela 4 - Propriedades mínimas para compósitos em TIF	34
Tabela 5 – Diferença de Perdas de Emissões de Vapores entre um TFE e um TFI. Dados relativos a crude e fornecidos pela EPA (<i>Environmental Protection Agency</i> – Estados Unidos)	54
Tabela 6 – Custos de Manutenção entre um TFE e um TFI em termos de vedação. Dados relativos a um estudo americano ano 2008.	54

Lista de Abreviações

ANSI – *American National Standards Institute*

API – *American Petroleum Institut*

AQS – Sistema de Gestão AQS (Ambiente, Qualidade e Segurança)

ASTM – *American Society for Testing and Materials*

BS – *Bicos/Sprinklers*

HDPE - *High-Density PolyEthylene*

MEF – Método dos Elementos Finitos

NBR – *Nitrile Rubber*

NFPA – *National Fire Protection Association*

NR – *Natural Rubber*

OPAS - Observações preventivas de ambiente e segurança

PMMA – *Poly(Methyl MethAcrylate)*

PP - *PolyPropylene*

PVC – *Polyvinyl chloride*

TEF – Tecto Exterior Flutuante

TIF – Tecto Interior Flutuante

Lista de Símbolos

°C – Grau Celsius (Unidade de Temperatura)

A – Área

Bar – Unidade de pressão

cm – Centímetro

cm³ – Centímetro ao cubo (Unidade de Volume)

E – Módulo de elasticidade do material na temperatura considerada (kg/cm²).

GPa - Gigapascal

Hz - Hertz

I – Momento de inércia de secção transversal do tubo (cm⁴).

K –Kelvin

kg – Quilograma

kg.m/s^2 – Quilograma metro por segundo ao quadrado

kg/cm^2 – Quilograma por centímetro quadrado

kg/m – Quilograma por metro

kg/m^3 – Quilograma por metro cúbico

L – Vão entre suportes (m).

l/m – Litro por Minuto

m – Metro

m^3/s – Metro cúbico por segundo

mm – milímetro

MPa - Megapascal

N/m – Newton por metro

N/m^2 – Newton por metro quadrado

p – Pressão

Pa – Pascal = 1 N/m^2

Q – Soma das cargas concentradas (kg)

q – soma das cargas distribuídas (kg/m)

S_v – Tensão máxima de flexão (kg/cm^2).

V – Volume

W – Sobrecarga aplicada no meio do vão.

W/m-K – Watts por metro por kelvin

Z – Momento resistente da secção transversal do tubo (cm^3)

δ – Flecha máxima (cm)

Capítulo 1 – Introdução

1.1 Petróleos de Portugal – Petrogal S.A.

A Refinaria de Matosinhos, inaugurada em 1969, insere-se num complexo industrial (290ha de área), que inclui hoje as seguintes unidades: três fábricas (combustíveis, aromáticos e solventes, e óleos de base), três unidades auxiliares (central termoeléctrica, captação de água e tratamento de águas para caldeiras) e um parque de armazenagem de petróleo bruto e de produtos refinados.

O referido complexo situa-se 3 km a Norte do Porto de Leixões (interface para importação de petróleo bruto e alguns produtos refinados, assim como exportação de alguns produtos), confinando actualmente com zonas habitacionais (distâncias da ordem dos 100 m), face à expansão urbana entretanto verificada.

Relativamente à Segurança, constata-se que o complexo industrial de Matosinhos está dotado das condições normalmente aplicáveis a instalações deste tipo, sendo relevante referir que os resultados das vistorias anuais efectuadas pela *MARSH* (empresa mediadora de seguros) são indicativos de risco médio, susceptível de melhorias (*average-acceptable standard exhibited but with room for improvement*). No entanto, face às potenciais implicações da sua localização e dos impactes inerentes à logística que se lhe associa (armazenagem e transporte de produtos), considera-se que a área de segurança deverá procurar observar elevados níveis de exigência, relevando-se que a Galp Energia tem em curso a realização de dois estudos neste sentido, contratados com a *DuPont Safety Resources* e com a *Shell Global Solutions International*.

A área de segurança do complexo industrial está estruturada com base em três componentes, designadamente: Vigilância - Controlo de Emergências - Análise de Riscos e Higiene Industrial, dispondo de um total de 29 técnicos.

Enquadra-se no Sistema de Gestão AQS (Ambiente, Qualidade e Segurança), dispondo de diversas infra-estruturas, de que se destacam as seguintes: sistemas de controlo redundantes; detecção de fumos e gases em ambientes confinados e não confinados; sistemas de vapor de abafamento; cortinas de água para isolamento de fornalhas, bombas e colunas, equipamentos fixos e móveis de combate a incêndios; monitorização e comando à distância de válvulas em posições processuais críticas e estratégicas; sistema de gestão de alterações; detectores de incêndios na armazenagem de petróleo bruto, sistemas de alarme de nível muito alto nos

reservatórios; ensaios não destrutivos e selecção de materiais, observações preventivas de ambiente e segurança (OPAS); manuais de operação (arranque-paragem-manutenção); procedimentos para situações de emergência; registo e investigação de acidentes (análise das causas / medidas correctivas); controlo de alcoolemia; auditoria aos sistemas de segurança dos equipamentos; planos de emergência internos; integração com planos oficiais de segurança (Seveso II e Protecção Civil). [1]

Por outro lado, possui diversos meios de combate a incêndios, incluindo tanques de reserva de água, bombas e veículos de combate a fogos.

1.2 Dimensionamento e Análise Estrutural de uma Cortina de Água

No que diz respeito ao estágio realizado, a segurança da refinaria foi um ponto extremamente importante, pois o primeiro projecto incide no dimensionamento e análise estrutural de uma cortina de água para isolamento de fornalhas, mais exactamente da fornalha N°2401 da Refinaria.

A cortina em questão encontra-se desde o ano passado, 2010, estruturada e a funcionar correctamente, sendo a discussão e problema a dissecar o correcto dimensionamento dos apoios actuais da cortina.

Foi verificado no local que o funcionamento da cortina provoca diversas vibrações e uma aparente insegurança estrutural que pode vir a ser perigosa para a envolvente.

Deste modo, o primeiro projecto baseia-se numa análise estrutural analítica e pelo método dos elementos finitos da cortina de água e na discussão de possíveis soluções de guiamento e apoio. Tendo como objectivo determinar a segurança estrutural da cortina e desenvolver soluções alternativas.

1.3 Tectos Interiores Flutuantes – Análise de Materiais e Dimensionamento

A Petrogal, tal como todas as refinarias, tem como função básica decompor o petróleo em diferentes subprodutos, como gasolina, diesel e nafta. Uma vez tratados é fundamental armazena-los em tanques.

Os tanques de armazenamento são uma componente muito importante numa refinaria. O seu dimensionamento e manutenção passam por um conjunto de normas que tem de ser cumpridas com rigor de modo a garantir a segurança da envolvente, pureza dos produtos e a conservação da própria estrutura.

Existem diversos tipos de tanques que podem ser atmosféricos ou pressurizados. Na Petrogal é comum encontrar tanques cilíndricos e esféricos, sendo os esféricos recomendados para

armazenar gases. Relativamente ao tecto dos tanques, podem ser fixos (cónicos, curvos ou em gomos), móveis (deslocando-se de acordo com a pressão exercida pelo vapor), flutuantes (flutuando sobre o produto que está armazenado).

No segundo projecto, o estudo recai no armazenamento de nafta em tanques de tecto fixo com um tecto interior flutuante. A razão pela qual este género de tanque é importante resume-se ao facto de reduzirem as perdas do produto armazenado em consequência da evaporação. Estes tanques devem também possuir um sistema de selagem, pois como o tecto interior é flutuante, este move-se internamente em relação à parede do tanque.

A preferência dos materiais de construção destes tectos interiores flutuantes é o ferro, aço ao carbono e o alumínio. Actualmente já existe materiais compósitos que visam as mesmas propriedades destes materiais e oferecem uma opção muito apelativa relativamente ao aço e alumínio.

Ao longo deste projecto será revista as propriedades e precauções a ter no armazenamento da nafta, bem como uma análise comparativa e estrutural de 3 tipos de tectos interiores flutuantes – aço ao carbono, alumínio e um material compósito de fibra de vidro reforçada de nome *DynaGlass®*.

Capítulo 2 - Cortinas de Água

As cortinas de água integram-se num esquema de segurança preventiva, que no caso em estudo são importantes e fundamentais para o correcto funcionamento da refinaria. São as cortinas de água que vão agir como primeira linha de defesa e segurança dos trabalhadores e da envolvente em caso de incêndio ou outra qualquer irregularidade da área que estão a circundar.

O objectivo das cortinas de água é criar, através de *sprinklers* nas tubagens, a expulsão de água a uma certa pressão e velocidade de modo a que impeça o alastramento e restrinja a área que circunda de possíveis incêndios.

A cortina de água em estudo pertence a um projecto realizado por uma empresa de engenharia certificada. Que não só dimensionou a cortina de acordo com leis e normas em vigor, como também dimensionou e instalou as válvulas, botoneiras, lava-olhos, chuveiro e tudo que possa dizer respeito à prevenção e segurança obrigatórias numa refinaria.

Neste trabalho foi utilizado como ferramentas de estudo para o dimensionamento e análise estrutural da cortina, diversos manuais de estruturas, tubagens, apoios, normas e artigos. Como também foi usado software – *Matlab*, *Multiframe* que permitiu visualizar deformadas e obter dados relativos a forças, reacções e vibrações da cortina quando solicitada pelas forças a que está sujeita. O facto de ser usado dois softwares reside na necessidade de existir uma comparação de resultados.

A organização e obtenção de valores para a solução estrutural actual e outras possíveis soluções, vai permitir que seja feita uma comparação de modo a concluir qual a solução mais segura e económica.

Todas as soluções baseiam-se na criação ou omissão de apoios ao longo da cortina de água.

2.1 Estrutura

A cortina de água (Ilustração 1 e Anexo A) é composta por uma tubagem de 6" (152.4 mm) com uma espessura de 4,5mm nos troços BC e CD. Nos Troços AB e DE a cortina de água é constituída por uma tubagem de 8" (203.2 mm) com a mesma espessura de 4,5mm (a espessura no caso de redução ou aumento de diâmetros de tubagem, mantem-se igual de modo a facilitar e a otimizar a soldagem entre tubagens).

As dimensões são:

AB: 6000 mm no eixo vertical yy;

BC: 6402,145 mm no eixo horizontal xx e zz;

CD: 7173 mm no eixo horizontal xx e zz;

DE: 6000 mm no eixo vertical yy;

Os pontos A e E são os pontos de encastramento da cortina e de B a D encontram-se dispostos os 12 *sprinklers* que vão fazer o escoamento da água. Os pontos B, C e D estão a 6000 mm de altura.

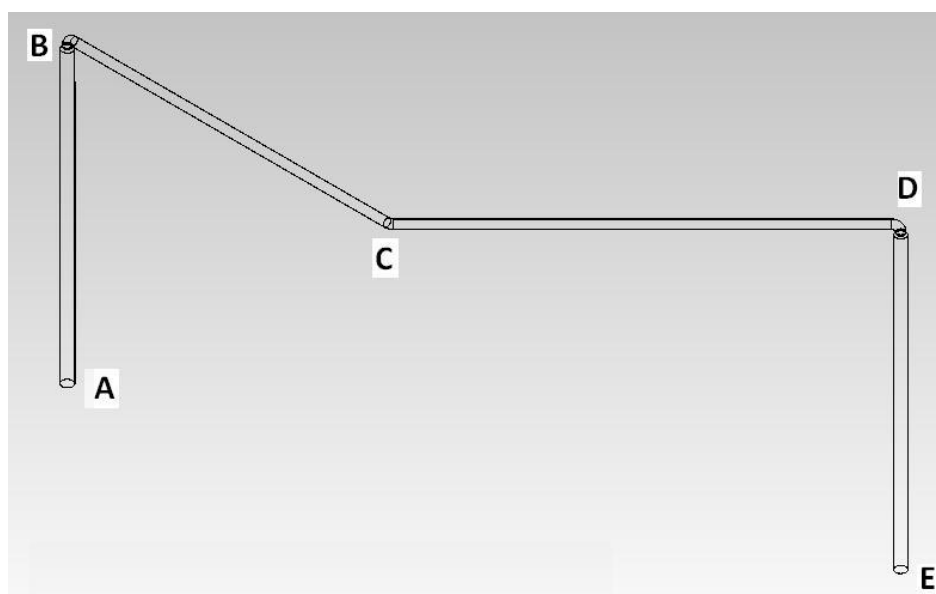


Ilustração 1 – Cortina de Água sem apoios, dimensionada no software de modelação SolidWorks®.

A cortina de água funciona em circuito fechado, sendo os 12 *sprinklers* os únicos orifícios de expulsão de água.

A água é fornecida através de tubagens de incêndio pré-existentis debaixo do solo e ligadas a tubagem por intermédio de válvulas de cunha nas extremidades A e E.

A pressão de fornecimento da água pode variar entre os 8 e 12 bar, sendo os 12 bar a pressão actual aquando o funcionamento da cortina.

2.2 Envolvente

A cortina de água está estruturada à volta de uma fornalha, mais precisamente a N°2401 da Refinaria.

Esta fornalha possui 30 metros de altura e quase 4 metros de diâmetro. As fornalhas são mecanismos muito importantes na refinaria pois são sistemas de energia que circulam o calor criado através da queima de óleos e combustíveis. É muito importante que exista sistemas de segurança contra incêndios ou fugas, tal como uma manutenção periódica.

As cortinas de água são a primeira linha de defesa em caso de incêndios no que diz respeito a estruturas deste género.

2.3 Funcionamento

A cortina de água a dimensionar irá actuar caso solicitada da seguinte maneira:

Uma vez pressionada uma das duas botoneiras de emergência no local da instalação da cortina de água, irá percorrer no interior da tubagem água a 12 bar. A água será expulsa por 12 Bicos/*Sprinklers* (BS) (Ilustração 2), colocados nos troços horizontais da cortina a 6 metros de altura, formando uma cortina de água (Ilustração 3).



Ilustração 2 -
Bicos/*Sprinklers*



Ilustração 3 -
Cortina de Água

A cortina de água também tem a opção de ser activada automaticamente pelos responsáveis de segurança num edifício onde funciona o controlo e manutenção de componentes da refinaria.

2.4 Materiais

A cortina de água é construída em Aço Galvanizado, que possui as seguintes propriedades:

Módulo de *Young*: 200 GPa

Tensão de cedência: 235 MPa

Tensão de ruptura: 360 MPa

Densidade: 7870 kg/m³

O Aço é empregado quando a responsabilidade estrutural entra em jogo. Existem 3 qualidades de aço disponíveis no mercado: o carbono, o *corten*, e o galvanizado. A diferença entre eles está no tratamento anticorrosivo de cada um, que determina também a função a que estão aptos.

Nas cortinas de água é usado geralmente o aço galvanizado devido as suas propriedades de anti-corrosão à água. Mais resistente, o aço galvanizado possui a mesma composição química do aço carbono, mas é revestido por uma camada de zinco. O aço galvanizado aceita pintura desde que seja aplicado um fundo que permita a aderência da tinta. [2] [3]

2.5 Dimensionamento Teórico da Cortina de Água

Neste capítulo será demonstrado os cálculos e métodos do dimensionamento teórico de uma tubulação – cortina de água.

2.5.1 Cálculo do diâmetro da tubulação

O dimensionamento do diâmetro dos tubos é quase sempre um problema de mecânica dos fluídos, resolvido em função da vazão necessária do fluido, das diferenças de cota existentes, das pressões disponíveis, das velocidades e perdas de carga admissíveis, da natureza do fluido, e do material e tipo do tubo. Esses cálculos são geralmente feitos pelo grupo responsável pelo projecto.

Há alguns casos em que são outros factores que determinam o diâmetro do tubo. Por exemplo, em tubos curtos ligados a equipamentos, é geralmente mais económico fixar o diâmetro do tubo pelo diâmetro dos bocais do equipamento, simplificando a instalação e economizando acessórios. Também no caso de tubos muito finos (abaixo de 2”) é frequentemente mais pratico escolher diâmetros um pouco maiores, para possibilitar aumentar os vãos entre suportes e fundações, embora do ponto de vista hidráulico diâmetros menores fossem satisfatórios.

No caso corrente a instalação possui um diâmetro de 6”. [4] [5]

2.5.2 A tubulação considerada como elemento mecânico

Do ponto de vista da resistência dos materiais, cada troço do tubo pode ser considerado como sendo um elemento mecânico, submetido a uma série de esforços mecânicos, e transmitindo outros tantos esforços aos suportes e pontos de fixação.

São as seguintes as principais causas de esforços mecânicos numa tubulação:

1 – Pressão interna exercida pelo fluido.

- 2 – Pressão externa (tubos em ambientes sob pressão, tubos com vácuo).
- 3 – Peso próprio do tubo, pesos do fluido contido, dos acessórios, válvulas, etc., integrantes da tubulação e do isolamento térmico. Em tubulações de vapor, ar e outros gases, deve ser considerado também o peso da água para o teste hidrostático, a menos que sejam previstos suportes provisórios adicionais para esse fim.
- 4 – Sobrecargas diversas agindo sobre a tubulação, tais como peso de outros tubos, plataformas e estruturas apoiadas nos tubos, gelo e neve sobre os tubos, peso da terra, pavimentação e veículos (no caso de tubos enterrados), peso de pessoas, etc.
- 5 – Acções dinâmicas provenientes do movimento do fluido contido, tais como golpes de acelerações, impactos, etc.
- 6 – Acções dinâmicas externas, como vento, terremotos, etc.
- 7 – Vibrações.
- 8 – Dilatações térmicas (ou contrações) do próprio tubo ou de outros tubos ligados ao tubo em questão, devido a variações de temperatura.
- 9 – Movimentos dos pontos extremos do tubo, causados por dilatações de outros tubos ou de vasos, tanques, equipamentos, etc.
- 10 – Reacção de juntas de expansão, devido ao esforço necessário para iniciar o funcionamento dessas juntas.
- 11 – Tensões residuais decorrentes da montagem, tais como alinhamentos forçados, desalinhamentos e desnivelamentos de suportes; tensões residuais causadas pela soldagem, aperto exagerado ou desigual de flanges e roscas, erros de ajustes de suportes de molas, etc.
- 12 – Desnivelamentos de suportes e de vasos ou equipamentos ligados à tubulação, consequentes de recalques de fundações.
- 13 – Atrito dos tubos nos suportes.

Na medida de atenuar ou evitar os esforços provenientes da maior parte dos factores atrás mencionados, deve-se por exemplo:

- 1 – Adoptar vãos adequados entre os suportes.
- 2 – Colocar válvulas, derivações e outras cargas concentradas próximo aos suportes.
- 3 – Limitar as sobrecargas.
- 4 – Colocar os tubos enterrados na profundidade apropriada: quando a profundidade é exagerada, há peso excessivo de terra; quando é muito pequena, pode não ser suficiente para distribuir os pesos da pavimentação e dos veículos.
- 5 – Dar flexibilidade adequada ao sistema para reduzir os esforços oriundos das dilatações.
- 6 – Colocar guias e contraventos para manter o alinhamento dos tubos.
- 7 – Absorver as vibrações por meio de amortecedores, ancoragens ou juntas de expansão.
- 8 – Colocar suportes de rolos ou placas de deslizamento quando o atrito for muito grande.

9 – Executar a montagem com os devidos cuidados para reduzir os valores das tensões residuais.

10 – Projectar convenientemente as fundações para que os recalques sejam mínimos.

Para diâmetros normais, com velocidades dentro dos limites usuais, como é o caso da cortina em estudo, e onde não existam válvulas de fechamento rápido, os efeitos dinâmicos provenientes do movimento do fluido são pequenos e em geral não precisam de ser considerados. [4] [5] [6]

2.5.3 Normas de projecto de tubulação

As normas de projecto de tubulação foram estabelecidas não só com a finalidade de padronizar e simplificar os cálculos, como principalmente de garantir condições mínimas de segurança para a operação de tubulações pressurizadas. A experiencia comprovou que a observância dessas normas torna muito baixa a probabilidade de ocorrência de acidentes graves. Por essa razão, embora as normas raramente sejam de uso legal obrigatório, são em geral exigidas como requisito mínimo de segurança por quase todos os projectistas e usuários de tubulações pressurizadas.

A extensão de assuntos abrangidos pelas normas de projecto é muito variável, diferindo bastante em cada caso. A norma americana ANSI.B.31 não só inclui critérios, formulas e detalhes de projecto, como também regras e recomendações relativas a selecção de materiais, fabricação, montagem e inspecção de tubulações.

Das sete secções aplicáveis a cada uma das classes de tubulações, a que importa para o caso em estudo é a:

Secção B.31.3: Tubulações em refinarias, terminais e instalações petrolíferas e petroquímicas em geral e tubulações em indústrias químicas.

Em que as tensões admissíveis básicas são as seguintes para o menor dos seguintes valores:

LR/3 – Valor mínimo do limite de resistência (ruptura) do material na temperatura considerada ou na temperatura ambiente, o que for menor.

LE/1,66 – Valor mínimo do limite de elasticidade (escoamento) do material na temperatura considerada ou na temperatura ambiente, o que for menor.

Tdf – Tensão mínima que causa uma deformação por fluência de 1%, ao fim de 100.000 horas, na temperatura considerada.

0,67xTdfm – Tensão media que causa uma deformação por fluência de 1%, ao fim de 100.000 horas, na temperatura considerada.

0,8xTrf – Tensão mínima que causa a ruptura do material, em consequência de deformação por fluência, ao fim de 100.000 horas, na temperatura considerada. [4] [5]

2.5.4 Cálculo da espessura da parede

Por motivos de resistência estrutural (para evitar a necessidade de vãos muito pequenos entre os suportes), e também de resistência a corrosão, adoptam-se geralmente, para os tubos de aço, as seguintes espessuras mínimas, independente do valor que tenha a pressão:

- Diâmetros nominais de 2” a 12”, inclusive: série 40.

No caso em estudo a tubagem tem 6”/8” e a espessura é de 4,5 mm – dentro da norma. [4] [5]

2.5.5 Cálculo do vão máximo entre suportes

O cálculo do vão máximo admissível entre os suportes de uma tubulação é feito considerando-se o tubo como uma viga, sujeita aos vários pesos e sobrecargas que estejam actuando. Esse vão máximo será limitado por dois factores:

- A tensão máxima de flexão, no ponto de maior momento flector, deverá ser inferior a uma determinada tensão admissível.

- A flecha máxima, no meio do vão, deverá também ser inferior a um valor admissível.

Teoricamente, a tensão máxima e a flecha máxima dependerão, em cada caso, do sistema de suportes (viga contínua, simplesmente apoiada, encastrada, etc.), e do tipo de carregamento (carga uniformemente distribuída, concentrada, etc.). Na prática, pode-se, na maioria das vezes, simplificar o problema, assimilando o tubo a uma viga contínua, simplesmente apoiada em vários pontos igualmente espaçados. Nesse caso, a tensão máxima de flexão corresponderá ao momento negativo máximo sobre cada apoio; o valor aproximado dessa tensão pode ser tomado como sendo:

$$S_v = \frac{10 L}{Z} [qL + 2(Q + W)] \quad (2.1)$$

Em que,

S_v: Tensão máxima de flexão (kg/cm²).

L: Vão entre suportes (m).

q: soma das cargas distribuídas (kg/m), que inclui o peso próprio do tubo e o peso do fluido contido, ou o peso da água de teste (o que for maior), e mais os seguintes pesos que existirem em cada caso: peso do isolamento térmico ou de qualquer outro revestimento interno ou externo, peso do sistema de aquecimento, peso de outras tubulações paralelas, de pequeno diâmetro, sustentadas pelo tubo.

Q: Soma das cargas concentradas (kg), supostas no meio do vão, que inclui o peso de válvulas, outros acessórios e derivações não suportadas existentes no espaço do tubo considerado.

W: Sobrecarga aplicada no meio do vão. Recomenda-se que seja considerada uma sobrecarga de 100kg, para todas as tubulações de aço de 3 polegadas ou maior, situadas a até 3 m de altura do solo.

Z: Momento resistente da secção transversal do tubo (cm³).

Quando só existirem cargas distribuídas, que é o caso mais frequente, a fórmula simplifica-se para:

$$Sv = \frac{10 q L^2}{Z} \quad (2.2)$$

Que resulta em:

$$L = \sqrt{\frac{Z Sv}{10 q}} \quad (2.3)$$

De onde se pode calcular directamente o vão máximo admissível.

O valor da tensão admissível Sv deve ser relativamente baixo, porque o material do tubo está sendo solicitado simultaneamente por outros esforços, em geral mais importantes. É usual, por isso, tomar-se $Sv \leq \frac{LR}{10}$, sendo LR o limite de resistência do material na temperatura considerada. Para aços carbono até a temperatura de 350°C, pode-se adoptar: $Sv=350\text{kg/cm}^2$. A fórmula ficará, então:

$$Sv = \frac{10 q L^2}{Z} \quad (2.4)$$

$$L = \sqrt{\frac{35 Z}{q}} \quad (2.5)$$

O valor da flecha máxima, no meio do vão, pode ser calculado por:

$$\delta = \frac{24.000 L^3}{EI} \left[\frac{Q+W}{3} + \frac{q L}{4} \right] \quad (2.6)$$

Em que,

δ : flecha máxima (cm)

E: módulo de elasticidade do material na temperatura considerada (kg/cm²).

I: momento de inércia de secção transversal do tubo (cm⁴).

Quando só existirem cargas distribuídas, teremos: $\delta = \frac{6.000 q L^4}{EI}$, de onde se pode calcular directamente o vão máximo:

$$L = \sqrt[4]{\frac{\delta EI}{6.000 q}} \quad (2.7)$$

São os seguintes os valores máximos geralmente admitidos para as flechas:

- Tubulações em áreas de processo:

Tubos de 3" ou menores: 5 mm.

Tubos de 4" ou maiores: 10 mm.

- Tubulações fora de áreas de processo: 25 mm.

A flecha deve ser limitada por duas razões principais: tornar a frequência natural de vibrações bastante elevada, de modo a evitar que qualquer causa de perturbação possa provocar vibrações de grande amplitude, e evitar a formação no meio do vão, de bolsas de líquido impossíveis de drenar.

O cálculo do vão máximo entre suportes, como descrito acima, não deve ser aplicado às tubulações de diâmetros muito grandes (120cm ou maiores) e de paredes finas ($D/t > 100$), para as quais deve ser verificado o possível efeito de colapso na região em contacto com os suportes, que deve ser devidamente reforçada, caso necessário. Para qualquer tubulação de pressão negativa, esse mesmo efeito também deve ser verificado.

Considerando a cortina de água em estudo, é possível determinar qual o vão máximo entre suportes:

- Diâmetro Exterior: 15,24 cm

- Diâmetro Interior: 14,34 cm

- Sv: 350 kg/cm²

- Flecha máxima: 10 mm

- Peso do tubo em vazio: 16,5 kg/m

- Peso da água: 16,2 kg/m

- Módulo de elasticidade do aço: $E = 2 \times 10^6$ kg/cm²

- Momento de inércia da secção transversal: $I = 5,73 \times 10^{-6}$ m⁴

- Momento resistente: $Z = 75,1 \times 10^3$ mm³

Carga distribuída total = 16,2 + 16,5 + 1,6 = 34,3 kg/m

Considerando apenas as cargas distribuídas, o vão máximo admissível, em função da tensão, será dada pela fórmula:

$$L = \sqrt{\frac{Z S v}{10 q}} \quad (2.8)$$

Substituindo:

$$L = \sqrt{\frac{75,1 \times 350}{10 \times 34,3}} = 8,75m \quad (2.9)$$

Relativamente ao vão para a flecha máxima, L pode ser calculado pela seguinte fórmula:

$$L = \sqrt[4]{\frac{\delta E I}{6.000 q}} \quad (2.10)$$

Ou,

$$L = \sqrt[4]{\frac{1 \times 2 \times 10^6 \times 5,73 \times 10^{-6} \times 10^8}{6000 \times 34,3}} = 8,63m \quad (2.11)$$

O vão máximo adoptar será então o último valor, ou seja, $L=8,63m$.

O apoio que existe na solução actual cumpre o vão máximo calculado. [4] [5] [6]

2.5.6 Dilatação térmica e flexibilidade das tubulações

Quando um tubo for submetido a uma variação de temperatura sofrerá uma variação de comprimento. Se o tubo estiver livre, essa variação será também livre e não se desenvolverão tensões internas nem reacções. Mas se o tubo estiver fixado de alguma forma, aparecerão tensões internas no tubo e reacções nos pontos de fixação, em consequência da restrição imposta a livre dilatação do tubo. Essas tensões e reacções serão tanto maiores quanto mais completa for a fixação.

Para controlar os efeitos da dilatação térmica em tubulações, deve-se:

- 1 – Dimensionar o trajecto do tubo afastando-se da linha recta, por meio de ângulos no plano ou no espaço, de maneira que o tubo fique com flexibilidade própria, capaz de absorver as dilatações por meio de deformações de flexão e/ou de torção, nos troços rectos e nos ângulos.
- 2 – Uso de elementos deformáveis intercalados na tubulação, de maneira a absorver as dilatações ocorridas.
- 3 – Pretensionamento (*cold spring*), introduzindo tensões iniciais opostas as tensões geradas pela dilatação térmica. [4] [5] [6]

No caso em estudo o tubo está fixado nos dois extremos mas no entanto possui uma curva a 6 metros de altura quase a meio do troço total da cortina.

A dilatação térmica no caso em estudo é um importante aspecto a considerar pois a cortina de água terá como principal função servir de primeira barreira contra um possível incêndio e portanto estará em contacto com elevadas temperaturas.

2.6 Cálculos e Dados Estruturais da Cortina de Água

Para dimensionar a cortina de água em questão, é necessário antes de mais proceder aos cálculos que permitam saber quais as forças que vão actuar na cortina.

Neste capítulo irá se determinar o peso próprio da estrutura, o peso correspondente à água que circula nas tubagens e as forças que dizem respeito à quantidade de movimento provocado pelo fluxo de água que é expulso da cortina de água.

Comprimento total da tubagem =	6000+ 6402,145+ 7173+ 6000 = 25575,144 mm
Comprimento no troço BCD =	6402,145 + 7173 = 13575,144 mm
D_{ext} 6" =	152,4 mm
D_{int} =	143,4 mm
Densidade=	7870 kg/m ³
Área de superfície=	0,00209 m ²
Volume=	0,0283 m ³
Peso=	223,382 kg
Força por N/m=	161,26175 N/m = 16,455 kg/m

Tabela 1 – Dados da Tubagem

Força da Água e do Fluxo de Movimento

Pressão interior = 12 bar

Densidade = 1000 kg/m³

Volume de Água =

$$\left(\frac{D_{int} \cdot 10^3}{2}\right)^2 * \pi * BCD * 10^3 \quad (2.12)$$

$$= 0,219246 \text{ m}^3$$

Peso de Água = 1000 * 0,219246 = 219,246 kg

Peso N/m = 158,2757 N/m = 16,150 kg/m

Bicos/Sprinklers (BS)

Pressão de saída = 12 bar

Caudal = 72 l/m

$$\text{Caudal Volumétrico} = \frac{72 \cdot 10^3}{60} = 0,0012 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Caudal Mássico} = 1000 \cdot 0,0012 = 1,2 \text{ kg/s}$$

$$\text{Diâmetro (BS)} = 6 \text{ mm}$$

$$\text{Área (BS)} = 2,827\text{E-}05 \text{ m}^2$$

$$\text{Velocidade de Saída} = \frac{1,2}{1000 \cdot 2,82743\text{E-}05} = 42,441 \text{ m/s}$$

O **fluxo de quantidade de movimento** através da superfície de controlo é igual ao somatório das forças exteriores que actuam no sistema. [7]

$$\int_S p V_y (\vec{v} \vec{n}) dS = \sum_{ext} F_y \quad (2.13)$$

$$\sum_{ext} F_y = F_y - p_x A_x \quad (2.14)$$

$$\int_S p V_y (\vec{v} \vec{n}) dS = \dot{m}_x v_x \quad (2.15)$$

Em que,

$$-F_y - p \cdot A \cdot 12 = m \cdot v \cdot 12 \quad (2.16)$$

$$F_y = -615,2265 \text{ N}$$

$$F_y/m = \frac{615,2265}{BCD \cdot 10^3} = -45,320 \text{ N/m}$$

$$\begin{aligned} \text{Força total por metro} &= 161,26175 + 158,2757 + 45,32007 = 364,857 \text{ N/m} \\ &= 37,230 \text{ kg/m.} \end{aligned}$$

2.7 Dimensionamento 3D

2.7.1 Conjunto

No dimensionamento 3D foi usado o *SolidWorks*®.

O conjunto é constituído pela fornalha, cortina de água e o actual apoio. Os respectivos desenhos de construção mecânica estão no Anexo B.

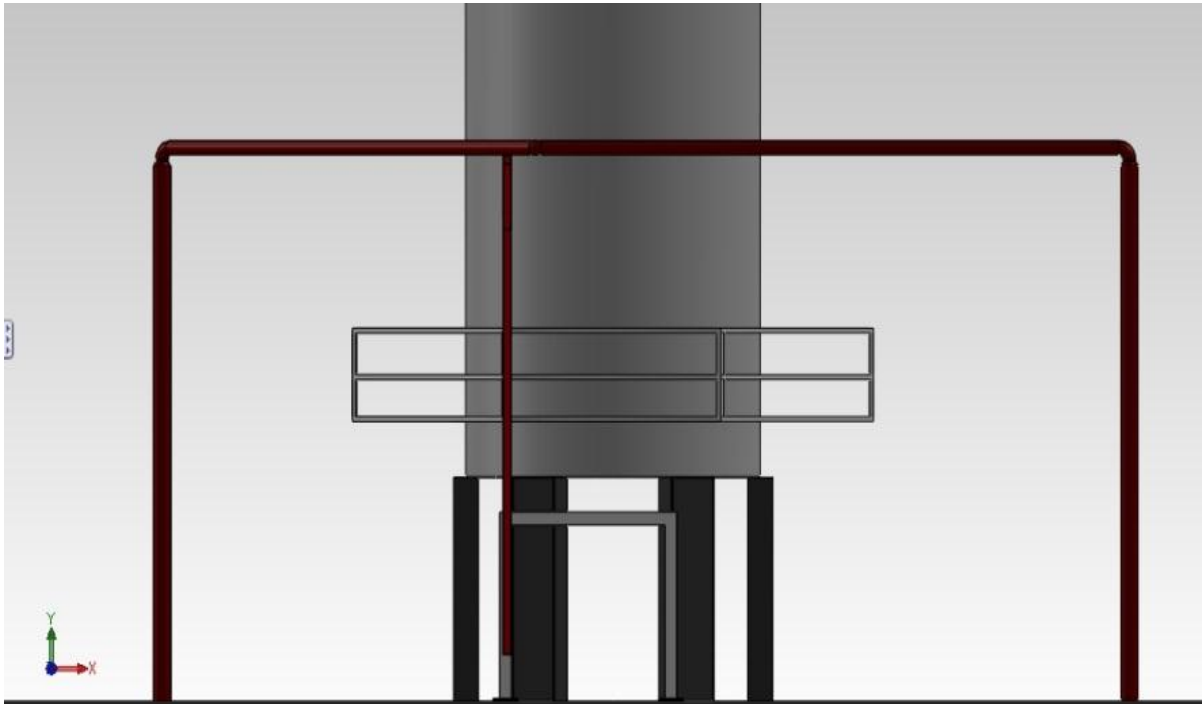


Ilustração 4 – Conjunto em *SolidWorks*®

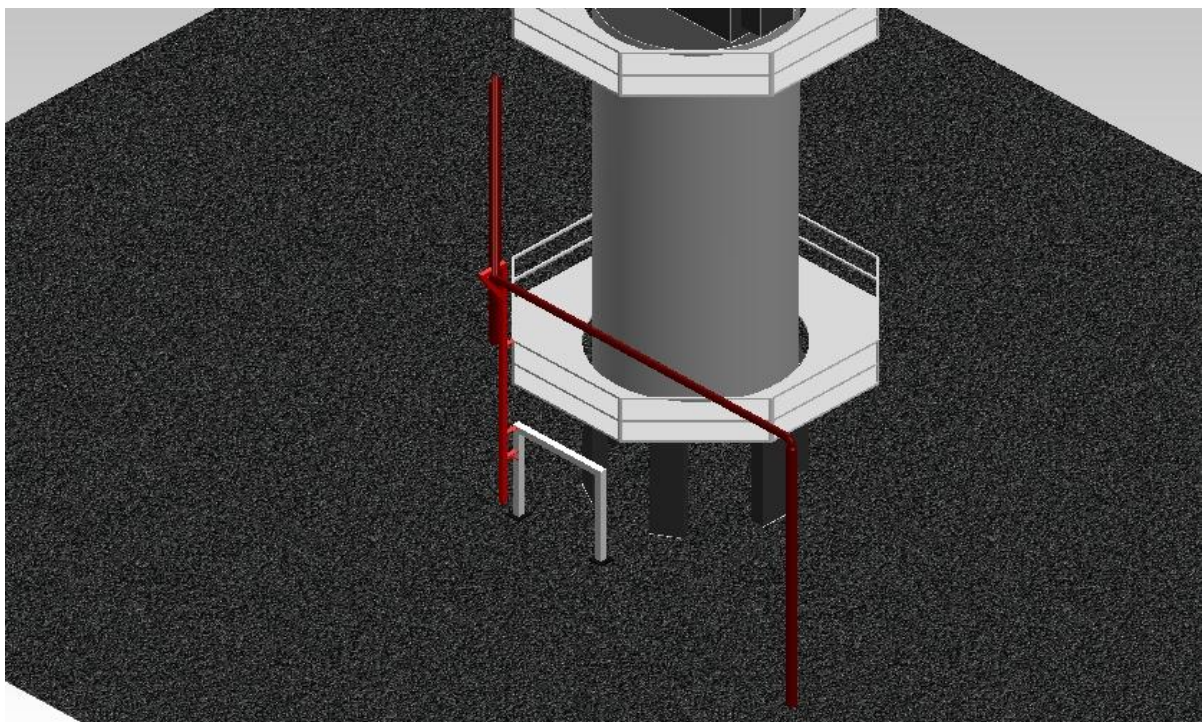


Ilustração 5 – Conjunto em *SolidWorks*®

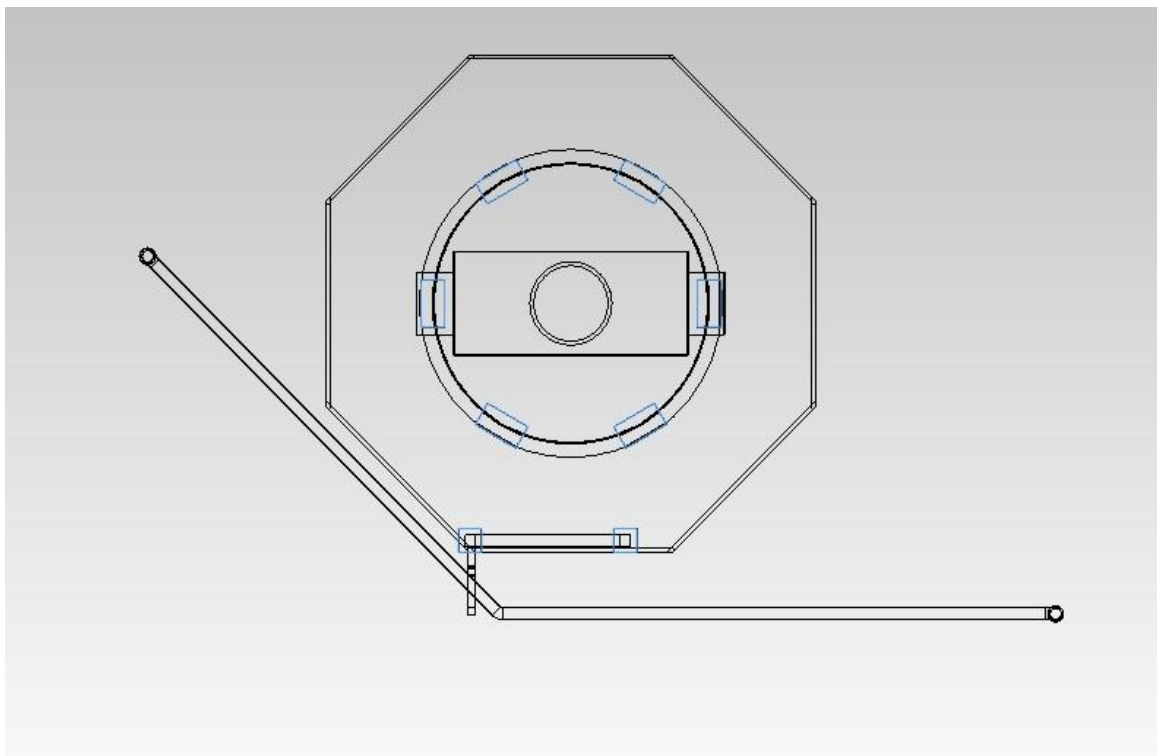


Ilustração 6 – Conjunto em SolidWorks®

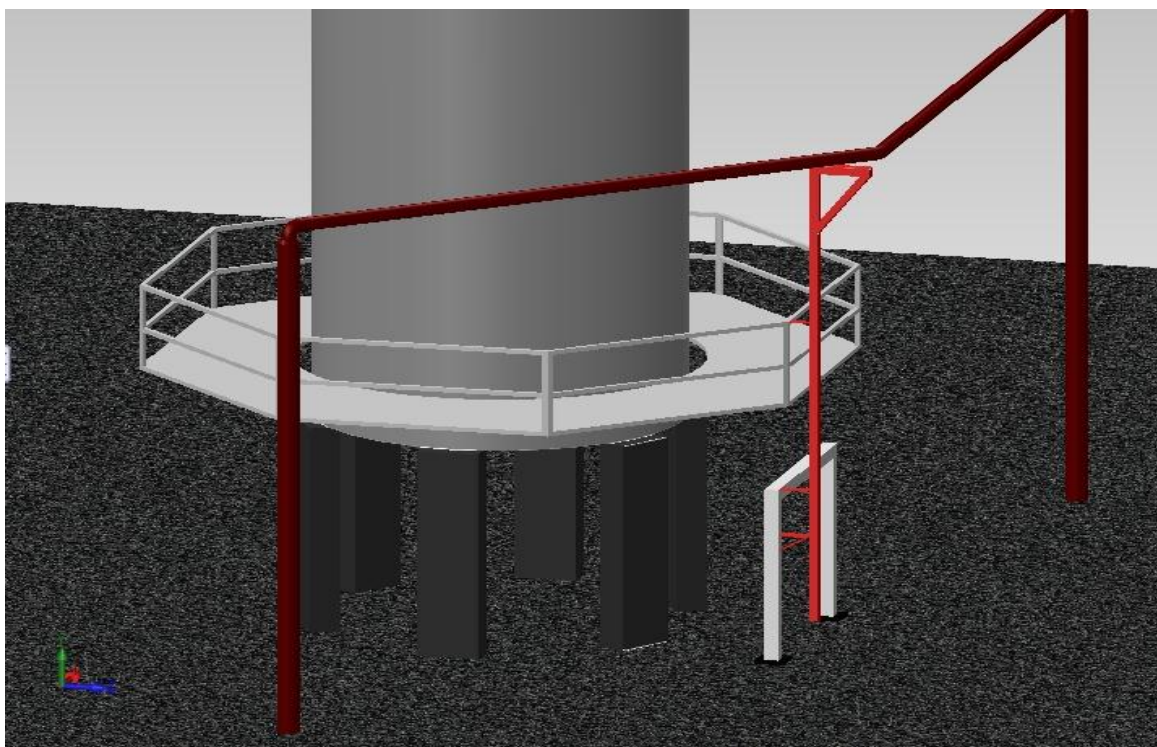


Ilustração 7 – Conjunto em SolidWorks®

2.8 Soluções Estruturais Possíveis

Neste capítulo vai ser possível analisar e visualizar a nível descritivo todas as soluções alternativas bem como a actual.

2.8.1 Solução 1 - Estrutura sem apoios

A estrutura sem apoios baseia-se apenas na cortina de água com dois encastramentos, um no ponto A e outro no ponto E.

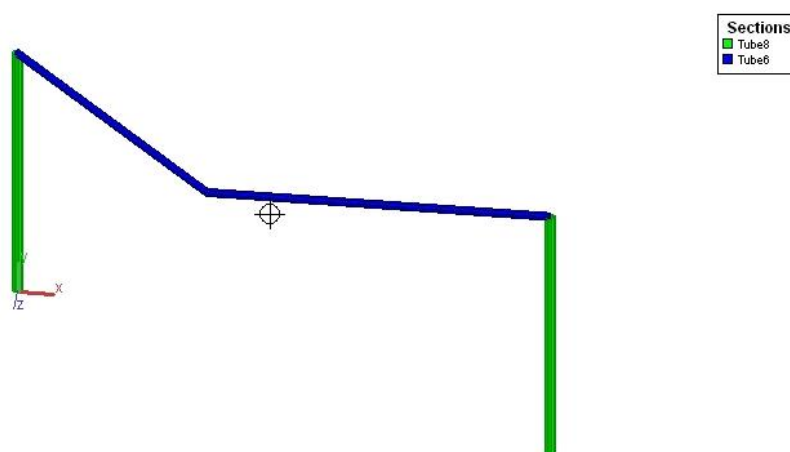


Ilustração 8 – Solução 1 – Estrutura sem Apoios; Azul: Tubagem 6”; Verde: Tubagem 8”;

2.8.2 Solução 2 – Estrutura actualmente

A estrutura actualmente baseia-se na cortina de água com dois encastramentos, um no ponto A e outro no ponto E.

É um apoio duplo no ponto de coordenadas $x=4\text{m}$, $y=6\text{m}$, $z=4\text{m}$; O apoio duplo é uma viga HEA 100.

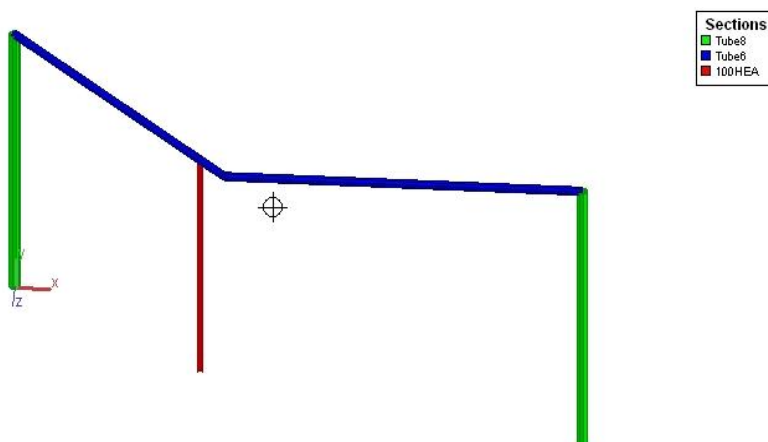


Ilustração 9 – Solução 2 – Estrutura Actualmente; Azul: Tubagem 6”; Verde: Tubagem 8”; Vermelho: Apoio Duplo HEA 100;

2.8.3 Solução 3

A solução 3 é uma solução alternativa com apenas um apoio encastrado no ponto de coordenadas $x=2\text{m}$, $y=6\text{m}$, $z=2\text{m}$.

O apoio encastrado é uma viga HEA 100.

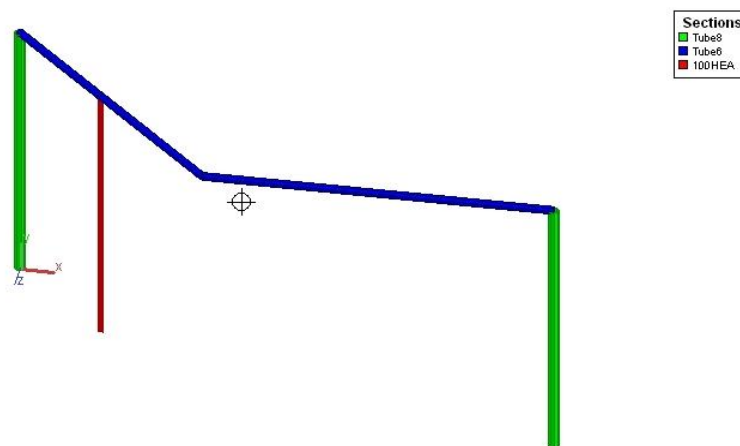


Ilustração 10 – Solução 3; Azul: Tubagem 6"; Verde: Tubagem 8"; Vermelho: Apoio Encastrado HEA 100;

2.8.4 Solução 3.1

A solução 3.1 é uma solução alternativa com dois apoios encastrados nos seguintes pontos de coordenadas: $x_1=2\text{m}$, $y_1=6\text{m}$, $z_1=2\text{m}$ e $X_2=2\text{m}$, $y_2=6\text{m}$, $z_2=2\text{m}$

Os apoios encastrados são ambas vigas HEA 100.

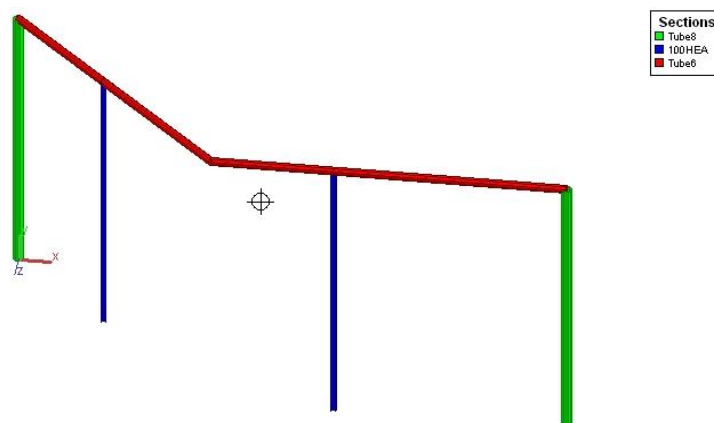


Ilustração 11 – Solução 3.1; Azul: Apoios Encastrados HEA 100; Verde: Tubagem 8"; Vermelho: Tubagem 6";

2.8.5 Solução 4

A solução 3.1 é a solução actual mais um apoio encastrado no ponto de coordenadas $x=2\text{m}$, $y=6\text{m}$, $z=2\text{m}$.

O apoio duplo e o apoio encastrado são vigas HEA 100.

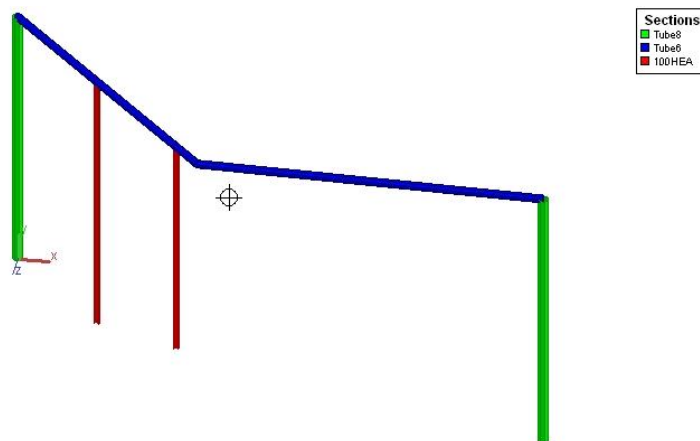


Ilustração 12 – Solução 4; Azul: Tubagem 6”; Verde: Tubagem 8”;
Vermelho: Apoio Encastrado e Apoio Duplo HEA 100;

2.8.6 Solução 4.1

A solução 4.1 é a solução actual mais dois apoios encastrados nos pontos de coordenadas: $x_1=2\text{m}$, $y_1=6\text{m}$, $z_1=2\text{m}$ e $x_2=2\text{m}$, $y_2=6\text{m}$, $z_2=2\text{m}$

Os apoios encastrados são ambos vigas HEA 100.

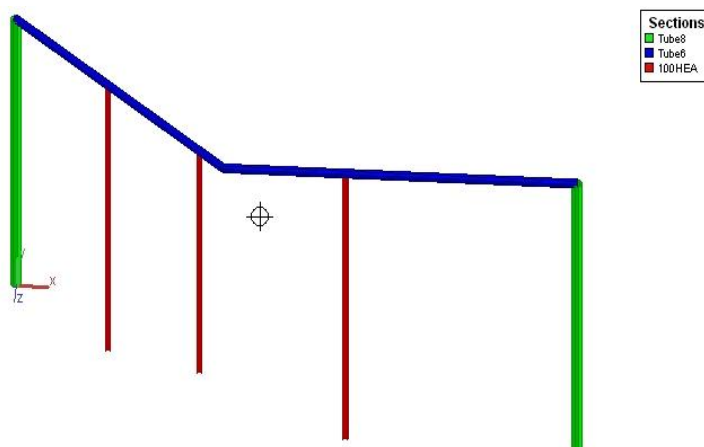


Ilustração 13 - Solução 4.1; Azul: Tubagem 6”; Verde: Tubagem 8”;
Vermelho: Apoios Encastrados e Apoio Duplo HEA 100;

2.9 Análise MEF

Para realizar uma análise estrutural que possa fornecer informações sobre deformadas, reacções e vibrações devido a esforços foram utilizados dois *softwares*: Matlab e Multiframe.

O Matlab é um software de programação que permitiu após modificar um programa existente, comparar resultados com o software de análise estrutural Multiframe. O Multiframe permite dimensionar diversas estruturas e solicitá-las às mais variadas forças, obtendo-se deformadas, reacções, forças, etc.

O método dos elementos finitos (MEF) é actualmente um método extremamente importante pois define e analisa estruturas complexas de engenharia, tais como aviões, automóveis, pontes, edifícios, barragens, máquinas ferramentas, etc. Sendo indispensável no âmbito da modelação e elaboração de projectos de engenharia. [9]

O método dos elementos finitos é um método que permite a discretização de um sistema contínuo através da aproximação da resposta por funções seleccionadas, sendo apenas desconhecidos os pesos da contribuição de cada função para a resposta final.

Neste método, os pesos estão associados aos nós – deslocamentos de pontos determinados da estrutura. No MEF é necessário a solução de um elevado número de equações algébricas, quer para respostas estáticas quer para problemas de valores próprios utilizados no estudo de vibrações. [10] [11] [12]

Com o Matlab foi possível modificar um programa já construído [9] que com os fundamentos teóricos de um elemento de viga 3D foi possível submeter uma estrutura semelhante à cortina de água, aplicar forças nos nós seleccionados e obter valores para uma deformada da estrutura.

Os passos relativos à construção do programa foram:

- 1- Introduzir 6 graus de liberdade por nó.
- 2- Introduzir propriedades do material.
- 3- Introduzir manualmente as coordenadas da estrutura 3D em análise.
- 4- Introduzir manualmente as condições fronteiras da estrutura 3D.
- 5- Introduzir manualmente as forças aplicadas nos nós.
- 6- Introduzir Matrizes Transformação, de Rigidez e Massa.
- 7- Criar coordenadas 3D para visualização gráfica das deformadas e vibrações livres.

Os programas relativos ao projecto número 1 encontram-se no Anexo C.

2.9.1 Matlab e Multiframe – Solução 1

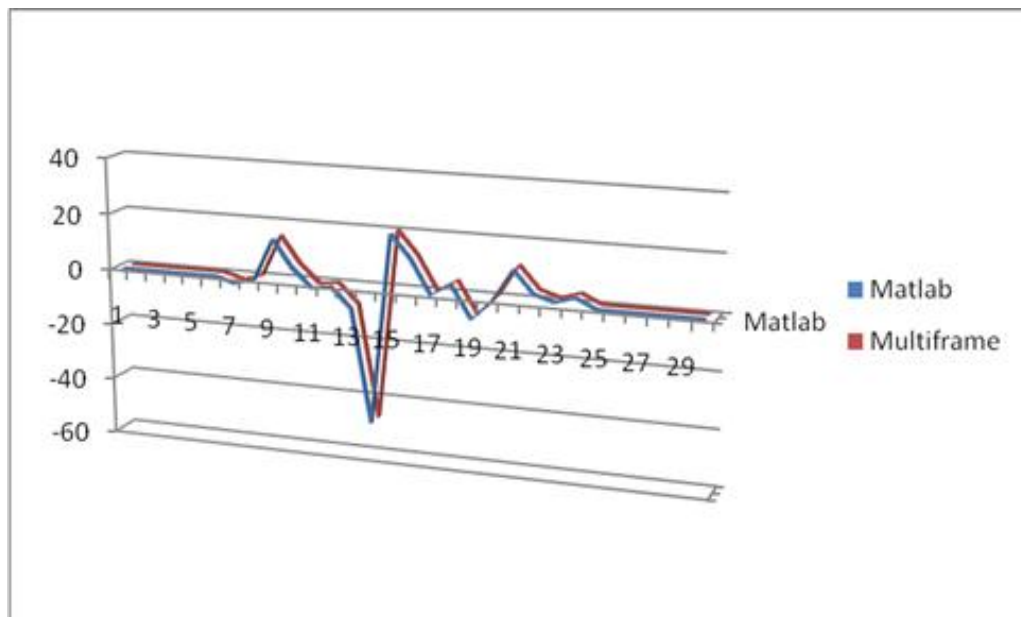


Ilustração 14 – Deformadas - Gráfico – Solução 1

Deformada máxima Matlab = -47,443 mm

Deformada máxima Multiframe = -47,469 mm

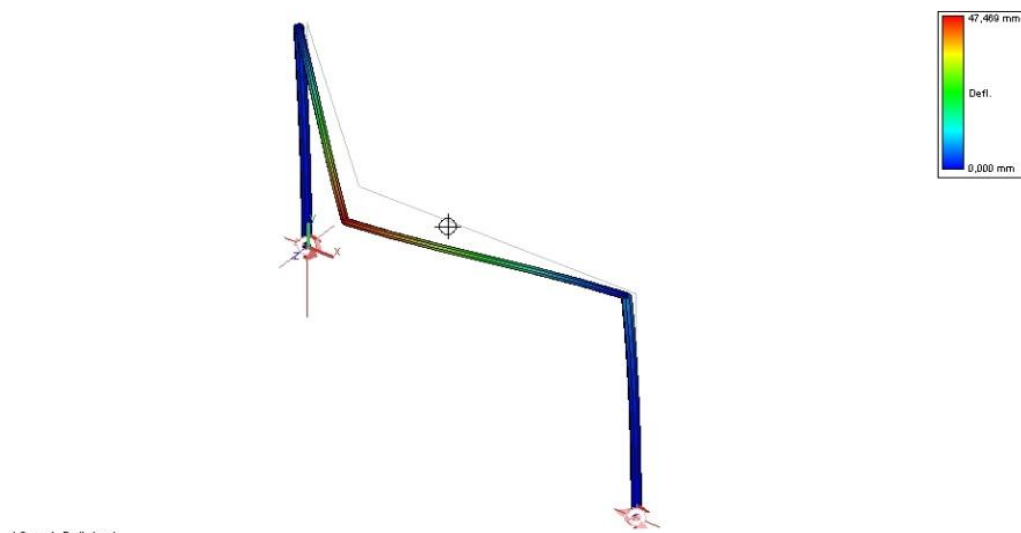


Ilustração 15 – Deformada – Solução 1

Esta solução não é viável pois demonstra a estrutura sem qualquer tipo de apoios e serve para ilustrar a existência de uma deformada bastante superior relativamente à estrutura em estudo com apoios.

2.9.2 Matlab e Multiframe – Solução 2

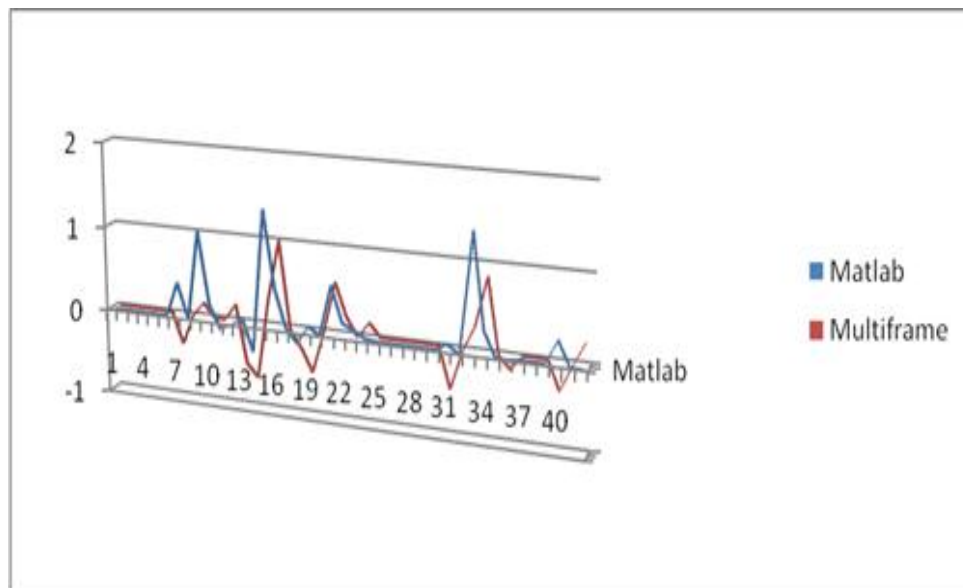


Ilustração 16 – Deformadas – Gráfico – Solução 2

Deformada máxima Matlab = 1,381 mm

Deformada máxima Multiframe = 0,998 mm

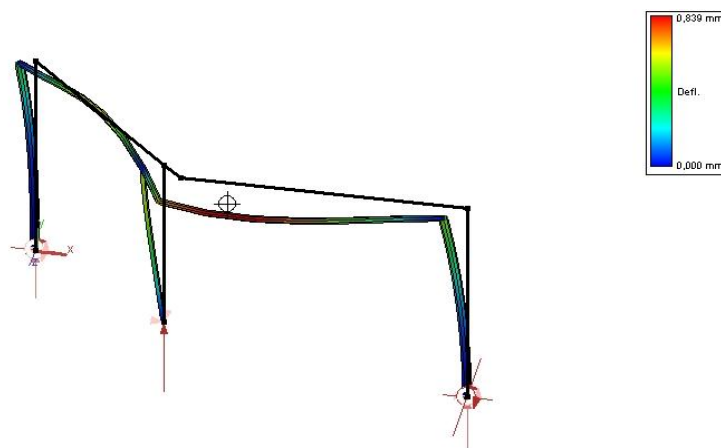


Ilustração 17 – Deformada – Solução 2

Esta solução é a que está construída actualmente.

2.9.3 Matlab e Multiframe – Solução 3

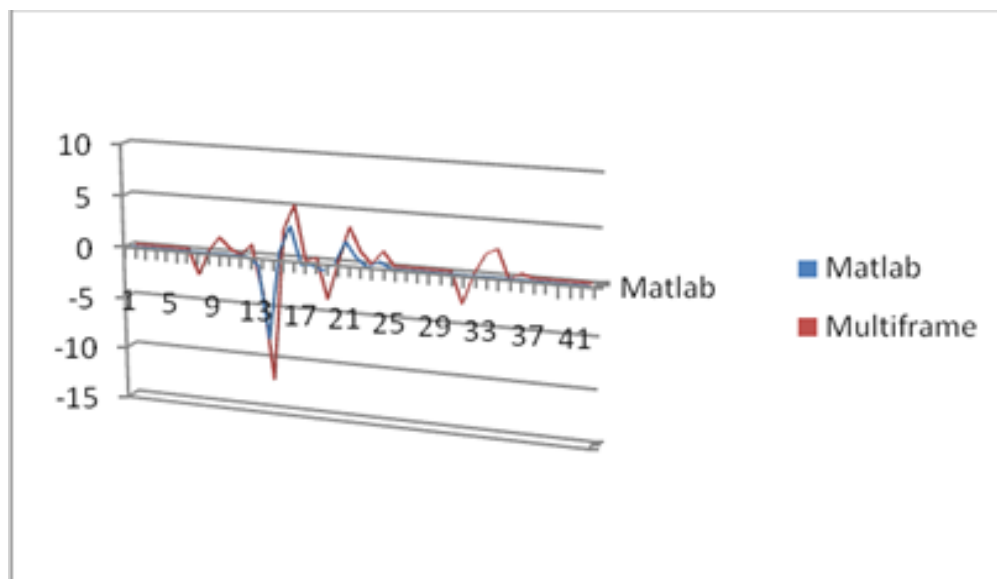


Ilustração 18 – Deformadas – Gráfico – Solução 3

Deformada máxima Matlab = -7,818 mm

Deformada máxima Multiframe = -12,17 mm

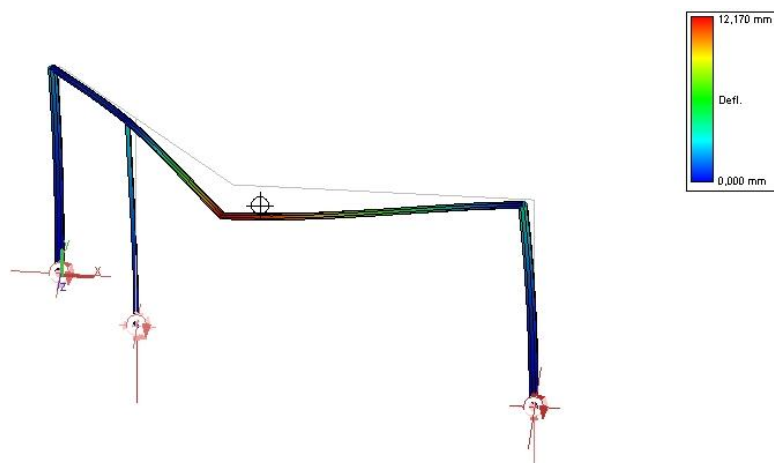


Ilustração 19 – Deformada – Solução 3

Nesta solução salienta-se o facto de se ter de retirar o apoio actual e construir um apoio encastrado. Relativamente à solução actual não é viável.

2.9.4 Matlab e Multiframe – Solução 31

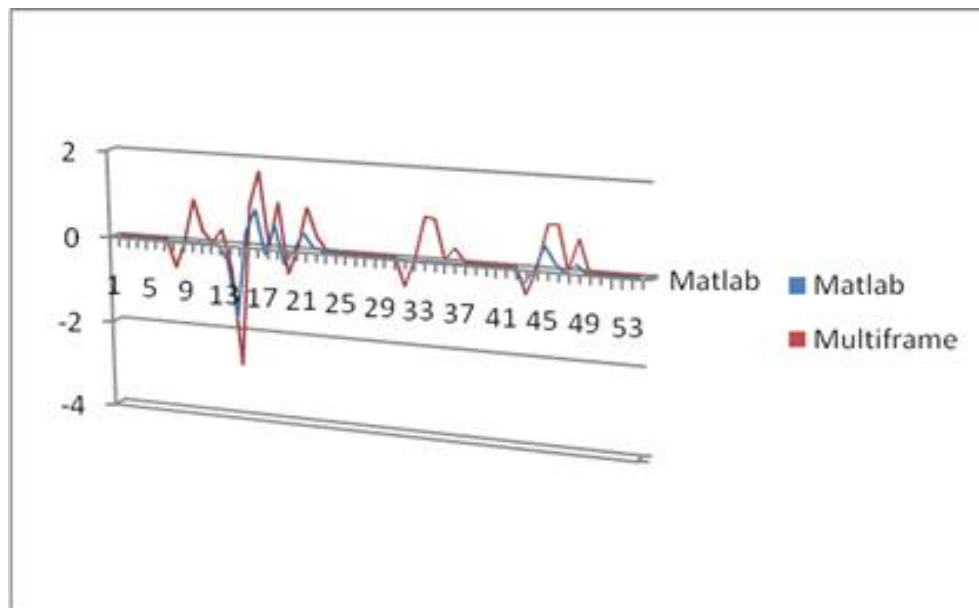


Ilustração 20 – Deformadas – Gráfico – Solução 31

Deformada máxima Matlab = -1,644 mm

Deformada máxima Multiframe = -2,842 mm

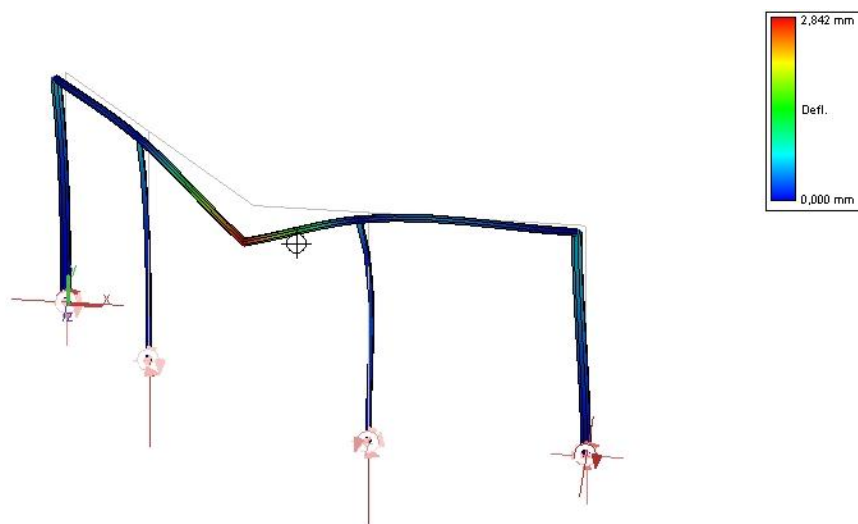


Ilustração 21 - Deformada - Solução 31

Esta solução é viável mas seria a mais custosa, visto ter se retirar o apoio actual e construir dois apoios encastrados.

2.9.5 Matlab e Multiframe – Solução 4

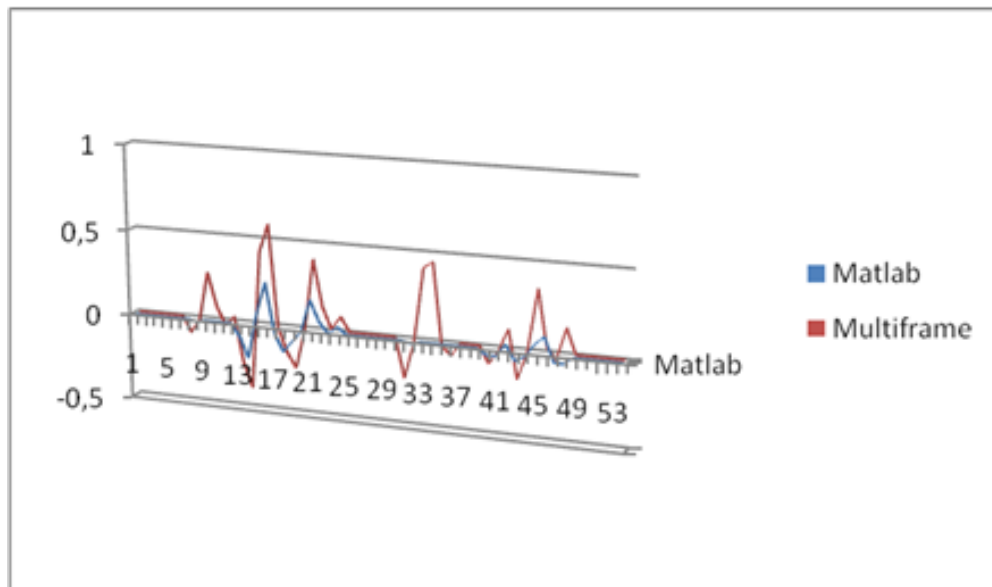


Ilustração 22 – Deformadas – Gráfico – Solução 4

Deformada máxima Matlab = 0,258 mm

Deformada máxima Multiframe = 0,583 mm

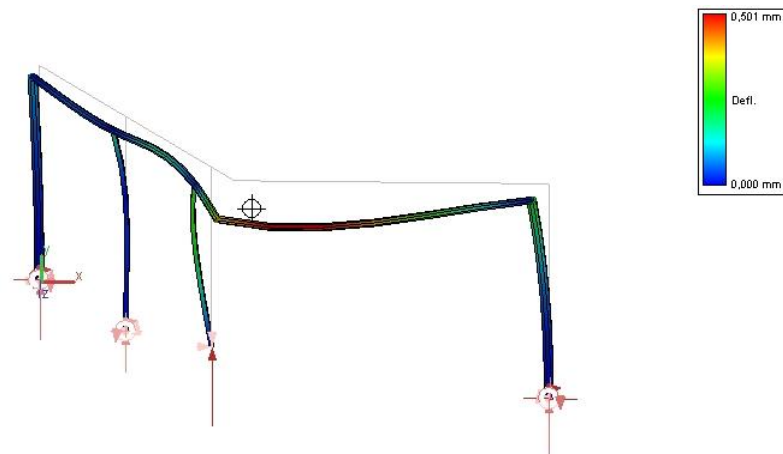


Ilustração 23 – Deformada – Solução 4

Nesta solução manter-se-ia o apoio actual e apenas se construía um apoio encastrado. É uma solução viável e melhor em termos de resultados que a estrutura actual.

2.9.6 Matlab e Multiframe – Solução 41

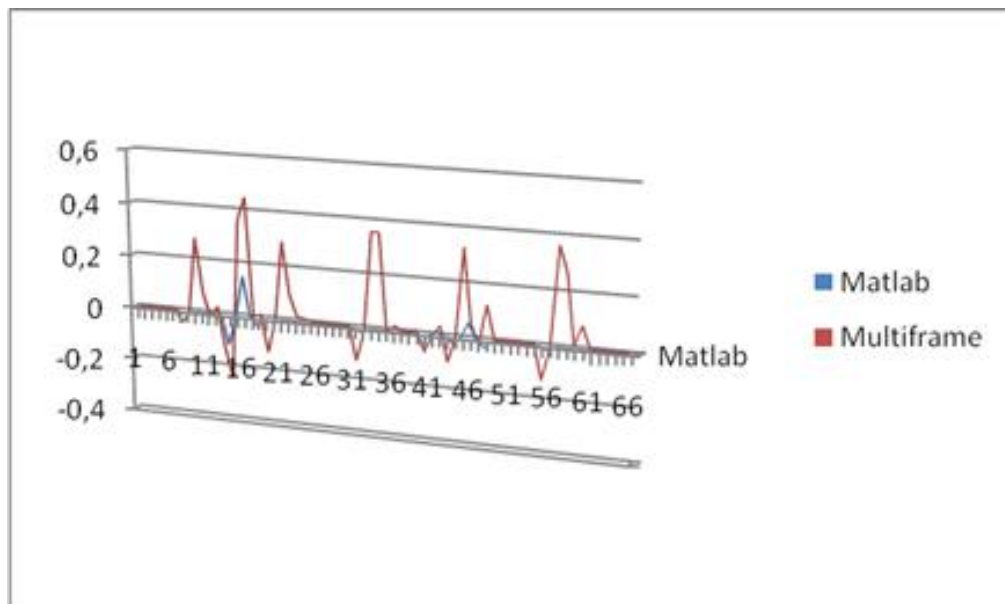


Ilustração 24 – Deformadas – Gráfico – Solução 41

Deformada máxima Matlab = 0,155 mm

Deformada máxima Multiframe = 0,446 mm

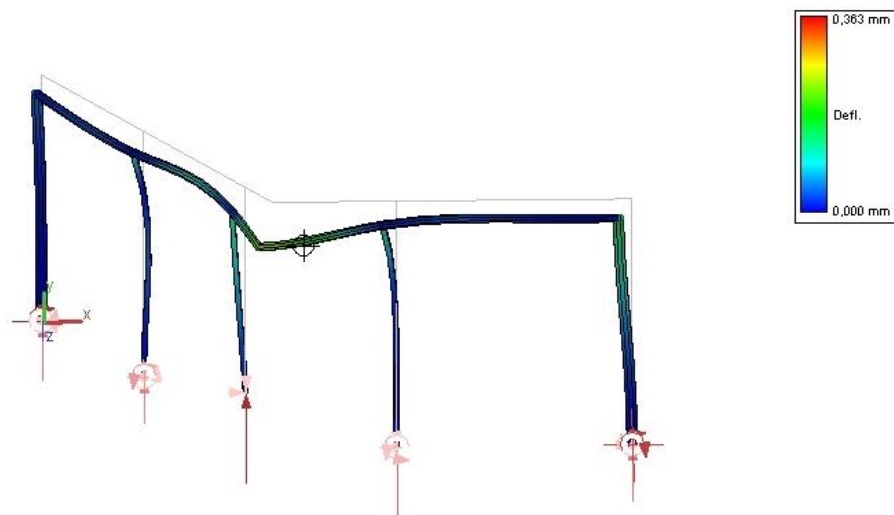


Ilustração 25 – Deformada – Solução 41

Esta solução é viável mas custosa e verifica-se que a construção de dois apoios encastrados aumenta a rigidez da estrutura.

2.10 Análise de Vibrações Livres - MEF

Neste Capítulo faz-se a análise de vibrações livres para os vários tipos de soluções, através do método dos elementos finitos, com cálculo das matrizes de massa e rigidez no software Matlab.

Modos	Solução 1	Solução 2	Solução 3	Solução 31	Solução 4	Solução 41
1	0,9635	0,0003	0,0044	4,0000	2,0000	0,0084
2	1,4493	0,0022	0,0083	6,0000	4,0000	0,0145
3	1,8187	0,0033	0,0091	9,0000	6,0000	0,0401

Tabela 2 – Três primeiros modos de vibração em todas as soluções – (Hz)

2.11 Resultados

	Matlab	Multiframe	
Solução 1	-47,44335632	-47,469	mm
Solução 2	1,381423279	0,998	mm
Solução 3	-7,818551521	-12,17	mm
Solução 31	-1,644956895	-2,842	mm
Solução 4	0,258775077	0,583	mm
Solução 41	0,155928496	0,446	mm

Tabela 3 – Resultados das deformadas em todas as soluções

Como é possível verificar, considerando que a flecha máxima para a cortina de água em estudo é de 10mm, a solução mais crítica é a solução 1 – solução sem apoios, apresentando uma deformada de -47 mm.

A solução 2, que é a solução actual, apresenta deformadas bastante boas na ordem dos 1,38 mm (< 10mm), no entanto como é possível verificar na tabela 2, demonstra que os três primeiros modos de vibração são muito pequenos, tornando a estrutura bastante rígida.

A solução 3, que se baseia na remoção do apoio actual e na colocação de um novo, não apresenta um resultado satisfatório pois a deformada é de -12,17 mm (>10mm).

As soluções 31,4 e 41 são opcionais relevando deformadas bastante baixas. É de salientar que a solução que apresenta valores mais baixos é a solução 41, mas que no entanto têm modos de vibração bastante baixos.

Todas as soluções como é possível verificar nos capítulos anteriores foram baseadas em apoios HEA 100. Modificando o apoio para uma classe superior como um HEA 120, os resultados vão apresentar deformadas mais baixas.

2.12 Discussão e Conclusão

Analisando os resultados é possível chegar às seguintes conclusões:

- Solução mais económica e segura – Solução 4. Pois não se remove o apoio actual e constrói-se um novo apoio HEA 100 – perfil mais barato. Para além disso possui deformadas e modos de vibração muito aceitáveis.

O perfil poderá ser revestido com betão antifogo para retardamento da deformação dos suportes em caso de incêndio. E juntas de expansão para amortecimento e guias no topo dos apoios junto da tubulação deverão existir caso for necessário.

A execução deste projecto demonstrou a complexidade teórica e prática que envolve a construção e dimensionamento de uma estrutura tipo tubulação. Demonstrou também que é necessário levar em conta a execução e cumprimento de normas que garantam um funcionamento correcto e seguro de uma tubulação para casos de emergência como é caso de uma cortina de água.

Capítulo 3 – Tecto Interior Flutuante

A nafta é um produto que é obtido por destilação atmosférica do crude e contem hidrocarbonetos saturados e aromáticos.

É extremamente inflamável e perigoso para o ambiente, por isso o seu armazenamento tem que ser cuidadosamente pensado e em zonas bem ventiladas. [13] [14]

O seu armazenamento temporário é bastante comum em refinarias, e é normalmente feito em tanques atmosféricos de tecto fixo com tecto interior flutuante construídos de aço ao carbono. Por norma o produto está à temperatura ambiente, e por isso não é necessário que exista um mecanismo no tanque de controlo de temperatura.

A existência de um tecto interior flutuante nos tanques vai permitir a redução da emissão de vapores da nafta para o ambiente. [15]

O dimensionamento destes tectos deve ter vários requisitos de construção pois vão estar em contacto com a nafta. É importante que o tecto seja em materiais leves que não afectem o produto, que não provoquem corrosão a curto prazo, sejam resistentes e duráveis e não sejam de construção dispendiosa.

A capacidade de corrosão do tecto é a mais importante característica a levar em conta, não só por causa da percentagem de enxofre existente na nafta a armazenar (0,06%), mas como também das possíveis temperaturas que o tanque pode sofrer.

No presente projecto é possível visualizar uma comparação teórica entre três tipos de material de construção para o tecto interior flutuante; um possível dimensionamento do tecto interior flutuante e seus suportes através da Norma API 650 (*American Petroleum Institute*), Anexo D; uma análise estrutural, em termos de deformadas e temperaturas, através de uma simulação com o MEF (Método dos Elementos Finitos) em Matlab.

3.1 Produto a Armazenar - Nafta

3.1.1 Propriedades

A Nafta é um produto que está classificado como perigoso de acordo com a Directiva 1999/45/EC e suas emendas.



Ilustração 27 – N –
Perigoso para o
ambiente



Ilustração 28 – Xn
- Nocivo



Ilustração 29 – F -
Inflamável

É extremamente inflamável, cancerígeno (categoria 2), mutagénico (categoria 2), tóxico (categoria 3), irritante e um perigoso poluente do ambiente. E tem as seguintes classificações:

R10 - Inflamável.

Xn; R65 - Nocivo: pode causar danos nos pulmões se ingerido.

R66 – Pode provocar secura da pele ou fissuras, por exposição repetida.

R67 - Pode provocar sonolência e vertigens, por inalação dos vapores.

N; R51/53 - Tóxico para os organismos aquáticos, podendo causar efeitos nefastos a longo prazo no ambiente aquático.

Os vapores da Nafta são mais pesados que ar e podem formar misturas explosivas. Deve-se evitar a formação no ar de concentrações de vapor inflamáveis ou explosivos e a concentração de vapores que excedam os limites de exposição profissional. Os seus tanques de armazenamento devem ser bem selados, possuir um tecto interior flutuante, não estarem próximos de fontes de calor, faíscas e chamas.

É de evitar o contacto com a pele e os olhos e deve ser proibido comer, beber e fumar na área onde o material é manuseado. [13] [14]

3.1.2 Materiais e corrosão

Para armazenar a Nafta deve-se usar aço ao carbono ou alumínio. No presente projecto o tanque será em aço ao carbono e dimensionado e construído através da norma API 650. No que diz respeito ao tecto interior flutuante que estará em contacto constante com a Nafta será usado o alumínio.

É de salientar que existem mais materiais que são compatíveis com a Nafta, como por exemplo: polietileno de alta densidade (HDPE), polipropileno (PP) e *Viton* que é uma borracha sintética.

Relativamente a materiais não recomendáveis existe por exemplo a borracha natural (NR), borracha de nitrilo (NBR), borracha de etileno propileno, polimetilo metacrilato (PMMA), poliestireno, policloreto de vinilo (PVC), polisobutileno.

A característica mais importante a ter em conta para o dimensionamento do tecto interior flutuante bem como do próprio tanque é a resistência à corrosão. A corrosão é uma constante deterioração do metal causada pela reacção do metal com o ambiente em redor.

No Anexo E encontram-se testes realizados com a Nafta e diversos materiais e seus resultados.

É de concluir que o aço e alumínio apresentam um comportamento muito bom com a exposição à nafta. No que diz respeito ao alumínio é de referir as seguintes ligas: 1100, 3003, 5052 e 6061. [16] [17] [18] [19] [20]

3.2 Tanques de Armazenamento de Tecto Fixo com Tecto Interior Flutuante

Os tectos flutuantes existem há mais de 50 anos proporcionando sistemas de segurança e de controlo de emissões comprovados por entidades reguladoras. A sua função é impedir a formação e libertação de vapores nocivos e de cariz explosivo para o ambiente em tanques de armazenamento de superfície.

O design dos tanques flutuantes varia de acordo com o material de construção que se usa.

Os tectos flutuantes podem ser interiores (TIF) ou exteriores (TEF).

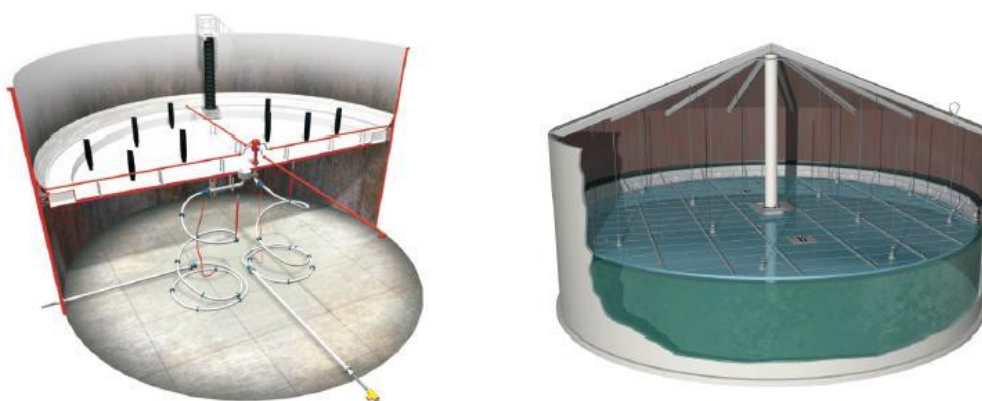


Ilustração 26 – Tecto Exterior Flutuante e Tecto Interior Flutuante

Os tectos exteriores são construídos em aço ao carbono de modo a que possam suportar pesos extra provenientes de chuva e neve, bem como prevenir a corrosão devido à exposição climática. Usam longas e pesadas pernas de suporte não só para suportar os pesos extras mas como também para suportar o seu próprio peso. Possuem também sistemas de drenagem de água e escadas de acesso.

As diferenças entre os tectos exteriores flutuantes e os tectos interiores flutuantes são várias como se pode observar no Anexo F.

Nos tanques que usam tectos fixos, existe se for necessário, os tectos interiores flutuantes, que são por norma construídos em materiais leves, devido ao facto de não terem de suportar os pesos extras da neve ou chuva. Os materiais usados podem variar, mas tipicamente é usado alumínio embora também possa ser usado fibra de vidro, painéis finos de aço inox ou compósitos. Dependendo do design adoptado, os tectos interiores flutuantes podem ser suportados por cabos montados no tecto fixo, em vez dos tradicionais suportes montados no próprio tecto interior. [21] [22] [23] [24]

3.2.1 Dimensionamento – Normas e Segurança

Para dimensionar e construir um Tanque de tecto fixo com um tecto interior flutuante é necessário cumprir um determinado número de regras de dimensionamento e construção de modo a garantir a sua segurança de funcionamento e futura manutenção.

Os códigos e normas em vigor na construção de um tanque do género são por exemplo:

- API Norma 650 Tanques de Armazenamento, Apêndice H;
- API Norma 653 Inspeção, Reparação, Alterações e Reconstrução de Tanques;
- API Norma 2000 Ventilação Atmosférica e Tanques de Armazenamento de Baixa Pressão;
- NFPA 11 Espumas de Baixa Expansão;
- NFPA 30 Código para Líquidos Inflamáveis e Combustíveis;
- API Capítulo 19.2; TR 2567; TR 2569 Documentos sobre Perdas por Evaporação de Tanques com Tecto Flutuante;

O projecto de um tecto interno flutuante deve considerar o projecto do próprio tecto fixo, de modo a determinar o tamanho, os efeitos do seu funcionamento e as condições ambientais.

A temperatura de projecto deve ser baseada na temperatura média mais baixa diurna da localização do tanque mais 8°C (15°F). A informação para estes valores encontra-se nas Normas API 650.

O projecto deve garantir que o tecto flutuante suporte com segurança uma carga de 2.2 KN numa área de 0,1m². Esta carga pode ser aplicada estando o tecto a flutuar ou sobre os seus suportes.

Os materiais de construção a considerar podem ser, o aço (Secção 2 do API 650), Alumínio - que deve estar em conformidade com a Secção 2 do ANSI/ASME B96.1 ou Plásticos (compósitos) – que deve ser compatível com o produto a armazenar e não pode ter uma taxa de inflamação superior a 100 por ASTM E 84.

Os materiais de teor plástico como compósitos devem ser rígidos, em células fechadas de espuma poliuretana de acordo com o ASTM D2341 e devem obedecer às seguintes propriedades mínimas: [25] [26] [27]

	Valores	Método ASTM
Densidade	48kg/m ³	D 1622
Tensão de Cedência	150 kPa	D 1621
Tensão de Corte	140kPa	C 273
Absorção de Água	1,27	D 2842
Percentagem de Célula Fechada	>95%	D 2856
Propagação de Chama	46	E 84

Tabela 4 - Propriedades mínimas para compósitos em TIF

3.2.2 Dimensões e Materiais de Construção

Tanque de Armazenamento com Tecto Fixo

O tecto de armazenamento no qual vai ser instalado um tecto interior flutuante é o A-TK 6201 e possui as seguintes dimensões (Anexo G):

Diâmetro interior = 24 384 mm

Altura do tanque = 10 973 mm

Virolas de aço ao carbono com espessuras de 8,5 a 6,35 mm.

Tecto Fixo suportado por estruturas metálicas articuladas tipo Pratt.

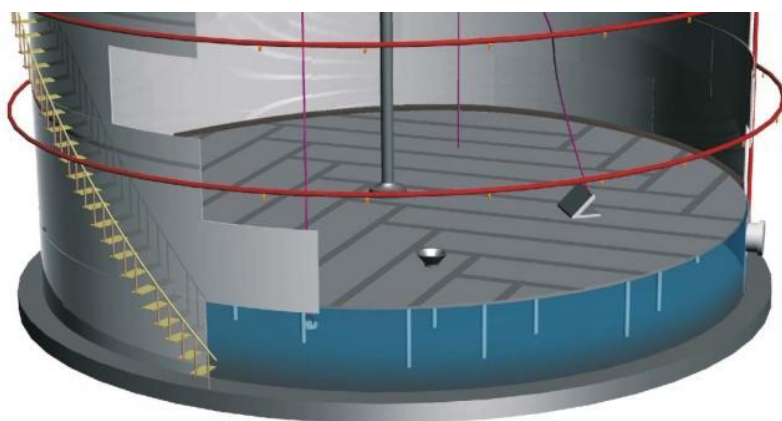


Ilustração 27 - Tanque de Armazenamento com Tecto Interior Flutuante

Material de Construção – Aço (A36)

Densidade (1000 kg/m^3) = 7,8

Módulo Elasticidade (GPa) = 210

Coefficiente de Poisson = 0,3

Expansão Térmica ($10^{-6}/\text{K}$) = 16,6

Condutividade Térmica (W/m-K) = 24,3-65,2

Resistência à Tracção (MPa) = 400-550

Tensão de Cedência (MPa) = 250

Para um tecto interior flutuante em aço ao carbono, a espessura nominal mínima não incluindo as tolerâncias relativas à corrosão é:

Espessura Mínima = 3,664 mm

Espessura do Teste = 4 mm

Suportes

Diâmetro = 24 384 mm = 24,384 m

Área = 466,981 m^2

Volume = 1,867 m^3

Peso = 14569,8 kg = 14569,5 N (kg.m/s^2) = 142,784 kN

Valor Mínimo que uma Perna de Suporte Aguenta = 2,2 kN por $0,1\text{m}^2$

Número de Pernas de Suportagem = 64,902 = 65 pernas

Custo = 16500 euros [17] [21] [26]

Material de Construção – Alumínio (AA 6061)

Densidade (1000 kg/m^3) = 2,713

Módulo Elasticidade (GPa) = 68,9

Coefficiente de Poisson = 0,33

Expansão Térmica ($10^{-6}/\text{K}$) = 20-100

Condutividade Térmica (W/m-K) = 25

Resistência à Tracção (MPa) = 115

Tensão de Cedência (MPa) = 48

Para um tecto interior flutuante em aço alumínio, a espessura nominal mínima não incluindo as tolerâncias relativas à corrosão é:

Espessura Mínima = 1,27 mm

Espessura do Teste = 4 mm

Suportes

Diâmetro = 24 384 mm = 24,384 m

Área = 466,981 m²

Volume = 1,867 m³

Peso = 5067,68 kg = 49663,3 N (kg.m/s²) = 49,663 KN

Valor Mínimo que uma Perna de Suporte Aguenta = 2,2 KN por 0,1m²

Número de Pernas de Suportagem = 22,574 = 23 pernas

Custo = 11600 euros [22] [26] [28] [29]

Material de Construção – Compósito *DynaGlass®* (Plástico Reforçado de Fibra de Vidro – G10 FR4)

Densidade (1000 kg/m³) = 1,820

Módulo Elasticidade 1 (GPa) = 270

Módulo Elasticidade 2 (GPa) = 220

Coefficiente de Poisson = 0,33

Expansão Térmica (10⁻⁶/K) = 0,9

Resistência à Tracção (MPa) = 275,79

Resistência à Compressão (MPa) = 455,05

Espessura mínima = 0,762 mm + 25,4 mm + 0,762 mm = 26,924 mm (3 camadas)

Espessura do Teste = 1 mm + 26 mm + 1 mm = 28 mm (3 camadas)

Suportes

Diâmetro = 24 384 mm = 24,384 m

Área = 466,9816 m²

Volume (Espuma + *DynaGlass®*) = 13,075 m³

Peso (Espuma + *DynaGlass®*) = 2282,606 kg = 22369,540 N (kg.m/s²) = 22,369 KN

Valor Mínimo que uma Perna de Suporte Aguenta = 2,2 KN por 0,1m²

Número de Pernas de Suportagem = 10,16 = 11 pernas

Custo = > 50000 euros [30] [31] [32] [33] [34]

3.3 Análise Estrutural – MEF

Foi desenvolvido pelo método de elementos finitos um programa em Matlab que determina a deformação de uma placa com n camadas, sujeito a cargas mecânicas e com introdução de uma análise térmica.

O programa foi desenvolvido da seguinte maneira:

- Introdução de Caixas de Diálogo com possibilidade de introdução de Dados, Dimensões, Número de Elementos, Número de Camadas, Orientação das Camadas, Temperaturas, Condições Fronteira.
- Modificação da Matriz Constitutiva para o Material em questão.
- Modificação de código para proceder à introdução de diferente número de camadas, sua orientação, espessura, tensões normais.
- Criação de uma Análise Térmica que permite determinar as diferenças de temperatura em cada camada consoante Temperaturas de Referência e obter um tensor térmico.

No programa também será pedido temperaturas de referência interiores, exteriores e respectiva condutividade térmica do material sendo possível determinar uma transferência de calor e posteriormente a variação do comprimento da placa.

O primeiro caso corresponde a uma placa de uma camada com as propriedades do aço. O segundo corresponde a uma placa de uma camada com as propriedades do alumínio e o terceiro caso corresponde a um laminado de 3 placas (estrutura sandwich) com as propriedades do compósito *DynaGlass®*. [9] [10] [11] [12]

Os programas relativos ao projecto número 2 encontram-se no Anexo H.

3.3.1 Material – Aço

Em baixo é possível visualizar os resultados das deformadas de uma placa quadrada sem pernas de suporte e simplesmente apoiada com as propriedades do aço, quando solicitadas por um peso próprio distribuído de $-0,3 \text{ KN/m}^2$ e um peso de -10 KN/m^2 . E a respectiva variação do comprimento da placa com uma temperatura exterior e interior respectivamente de 30 e 40 °C.

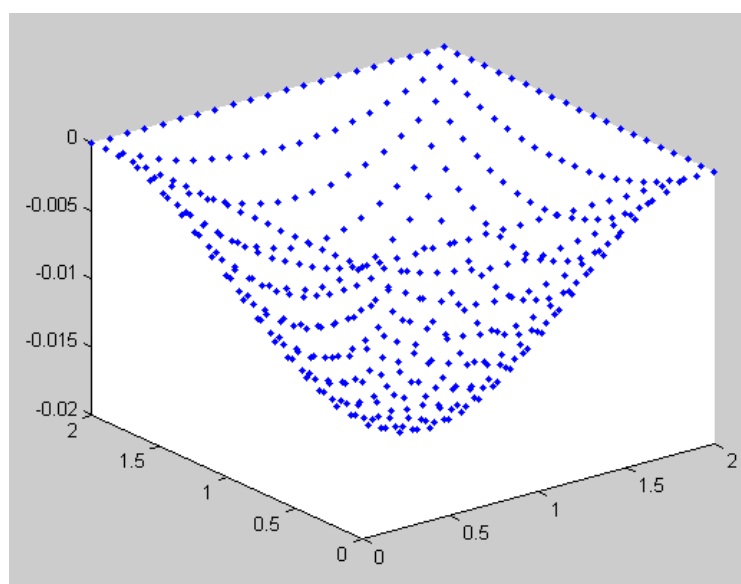


Ilustração 28 - Deformada Matlab - Material Aço - Peso Próprio

Deformada máxima - Peso próprio = -0.019 mm

Deformada máxima quando solicitada por $-10 \text{ KN/m}^2 = -0.659 \text{ mm}$

Variação do comprimento = 0.0013 m

3.3.2 Material – Alumínio Liga 6061

Em baixo é possível visualizar os resultados da deformada de uma placa quadrada sem pernas de suporte e simplesmente apoiada com as propriedades do alumínio – liga 6061, quando solicitadas por um peso próprio distribuído de $-0,04 \text{ KN/m}^2$ e um peso de -10 KN/m^2 . E a respectiva variação do comprimento da placa com uma temperatura exterior e interior respectivamente de 30 e 40 °C.

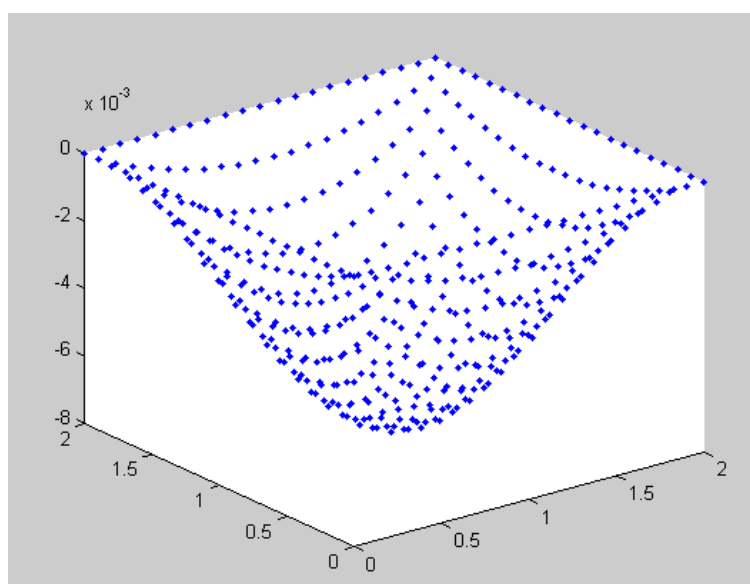


Ilustração 29 - Deformada Matlab - Material Alumínio – Liga 6061 - Peso Próprio

Deformada máxima - Peso próprio = -0.007 mm

Deformada máxima quando solicitada por $-10 \text{ KN/m}^2 = -1.914 \text{ mm}$

Variação do comprimento = 0.0019 m

3.3.3 Material - DynaGlass®

Em baixo é possível visualizar os resultados da deformada de uma placa sandwich sem pernas de suporte e simplesmente apoiada com as propriedades do compósito *Dynaglass*® e de uma espuma de poliuretano – G10 FR4, quando solicitadas por um peso próprio distribuído de - 0,05 KN/m² e um peso de -10 KN/m². E a respectiva variação do comprimento da placa com uma temperatura exterior e interior respectivamente de 30 e 40 °C.

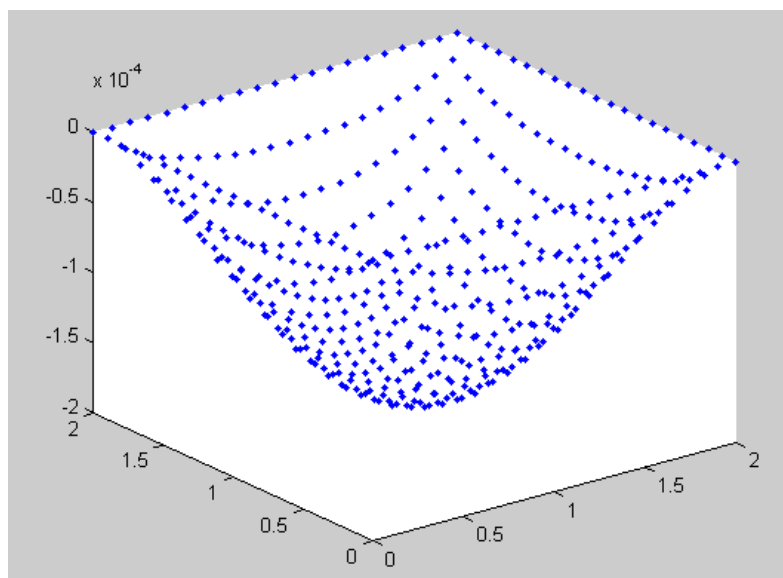


Ilustração 30 - Deformada Matlab - Material Compósito -
Peso Próprio

Deformada máxima - Peso próprio = -1.806e-004 mm

Deformada máxima quando solicitada por -10 KN/m² = -0.036 mm

Variação do comprimento =

Primeira Camada = 0 m

Segunda Camada = 0 m

Terceira Camada = 0 m

3.4 Resultados

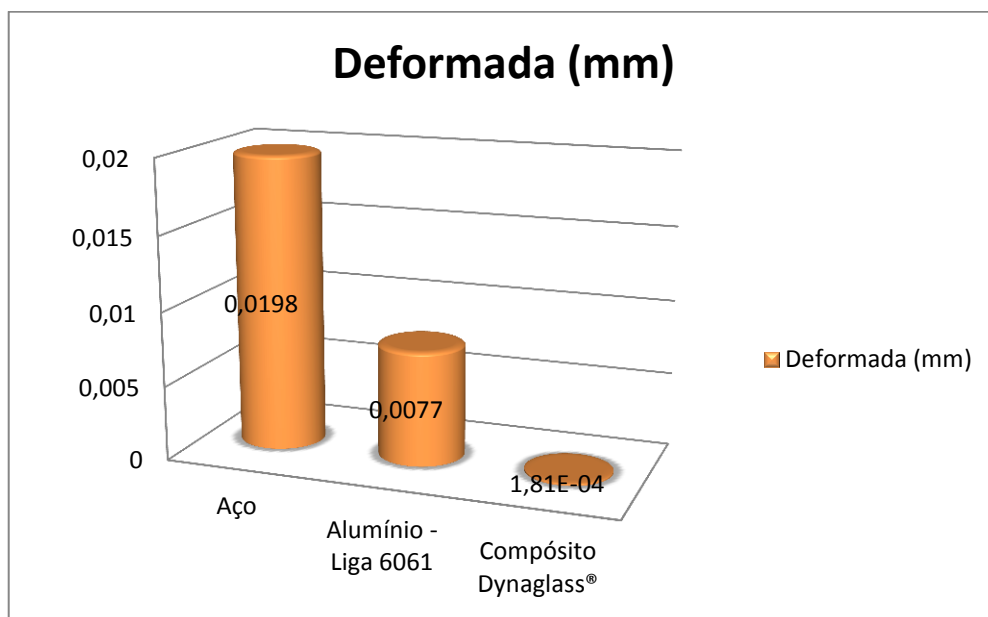


Ilustração 31 - Gráfico da Deformada – TIF – Peso Próprio

Como é possível visualizar pela análise do gráfico (Ilustração 31), o tecto que apresenta uma deformada menor após solicitação de uma força correspondente ao peso próprio de cada material é o compósito *Dynaglass®*.

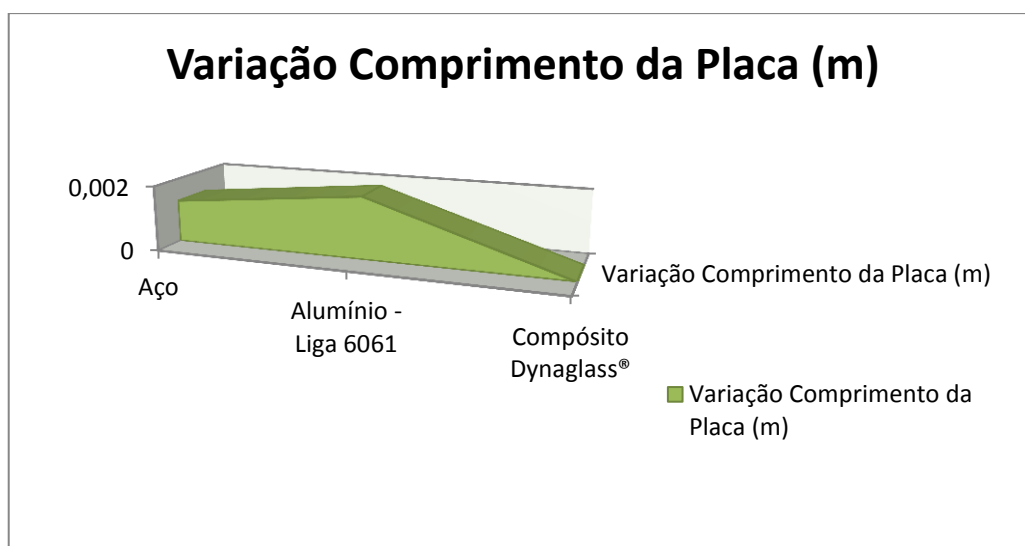


Ilustração 32 - Variação Comprimento da Placa - TIF

Na Ilustração 32 é possível visualizar que o alumínio é o material que apresenta maior variação do comprimento da placa em estudo entre temperaturas de 30 e 40 °C. O compósito *Dynaglass®* é o que apresenta menor variação.

Para uma solicitação de -10 KN/m^2 em todos os materiais em teste, foi possível obter o seguinte gráfico:

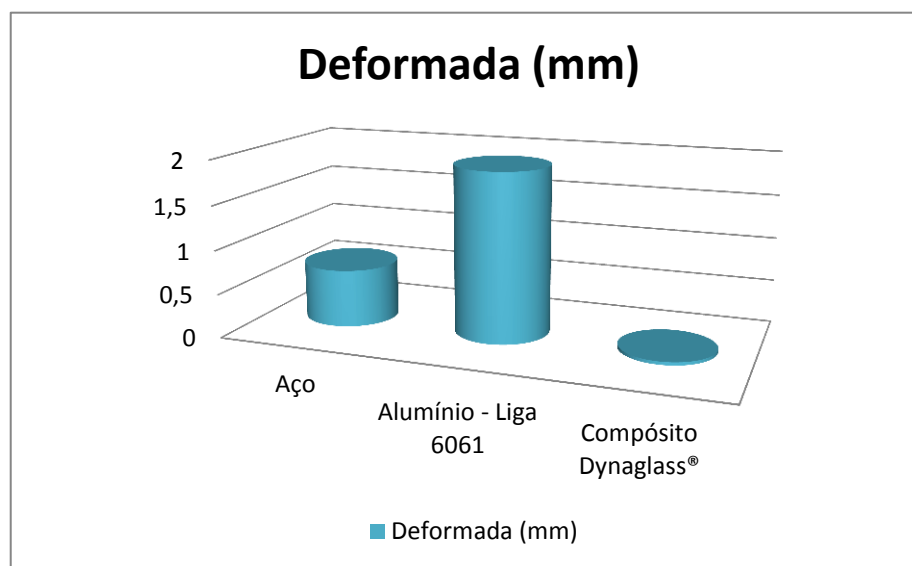


Ilustração 33 - Deformada dos vários materiais em teste no âmbito do TIF após solicitação de -10 KN/m^2

Onde é possível verificar que o alumínio é o material mais deformado, sendo o compósito *Dynaglass®* o menos deformado.

3.5 Discussão e Conclusão

Após avaliar os testes efectuados às várias placas com as propriedades dos materiais em estudo é de salientar que o material que apresenta menos deformação e variação de comprimento é o compósito *Dynaglass®*. No entanto são várias as vantagens e desvantagens na escolha deste material.

Por um lado o compósito *Dynaglass®* possui qualidades de operação e manutenção superiores, por outro lado ainda é um material em ascensão industrial e precisa de cumprir diversos requisitos e normas bastante rigorosas. A sua construção por mais simples que possa ser é custosa relativamente ao aço e alumínio e os materiais envolvidos necessitam de processos de fabrico e tratamentos específicos. Sendo ainda o fabrico dos tectos interiores flutuantes em compósito sandwich *Dynaglass®* ainda limitado a certos países e empresas.

O aço e alumínio beneficiam da experiência dos anos e da variedade de qualidades e tipos no comércio de tectos interiores flutuantes. Entre estes dois últimos materiais, seria o alumínio com capacidades de garantir uma melhor compatibilidade entre qualidade, preço e manutenção relativamente ao aço, tendo em consideração que o tecto em estudo é um tecto interior flutuante e não necessita de ser tão resistente como o aço pois estaria protegido por o tecto fixo do tanque.

Em consideração estaria o facto de também não ser preciso um tecto interior flutuante que dure ou ultrapasse a vida útil do tanque onde vai ser instalado.

Como conclusão deste segundo projecto é necessário salientar a importância das normas que existem no universo das refinarias, mais concretamente na construção e dimensionamento de tanques. Tendo isto em conta, é necessário conciliar os materiais de construção com os produtos a armazenar e garantir as melhores soluções a nível de qualidade e custo.

Os tectos interiores flutuantes são uma solução de construção para tanques que armazenam produtos que necessitam de controlo de emissão de vapores. Ao longo dos anos foi possível verificar que os materiais de construção usados no seu dimensionamento foram evoluindo. Num primeiro período aço e logo depois o alumínio. Os compósitos estão a entrar no mercado dos tectos interiores flutuantes e já revelaram as suas inúmeras vantagens tanto a nível de controlo de emissões, como manutenção e amigo do ambiente.

Capítulo 4 – Síntese, Conclusões e Sugestões para Trabalhos Futuros

Neste trabalho foi apresentado diversas análises estruturais com base no método de elementos finitos para duas estruturas diferentes:

- 1- Tubulação – Cortina de Água
- 2- Placa – Tecto Interior Flutuante

Apresentou-se também uma análise teórica que permite esclarecer e exemplificar o processo de dimensionamento das estruturas em questão.

É de concluir que numa refinaria é necessário proceder segundo normas e especificações que tornam o processo de dimensionamento mais rápido e seguro. No entanto a diversidade de possíveis soluções, o seu custo e objectivo tornam esse processo mais moroso e complicado.

O método dos elementos finitos proporciona ao projectista uma ferramenta útil na análise de estruturas tão especiais como tubulações e placas constituídas por laminados de materiais compósitos como foi possível observar no projecto número dois.

Para a realização de trabalhos futuros sugere-se a criação noutro software – como por exemplo o ANSYS – dos modelos estruturais criados, com o objectivo de comparação de resultados (o ANSYS é um programa usado para tratar problemas de engenharia usando o método dos elementos finitos). Também sugere-se uma análise em laboratório do comportamento do alumínio e de um material compósito em contacto com a Nafta.

Referências e Bibliografia

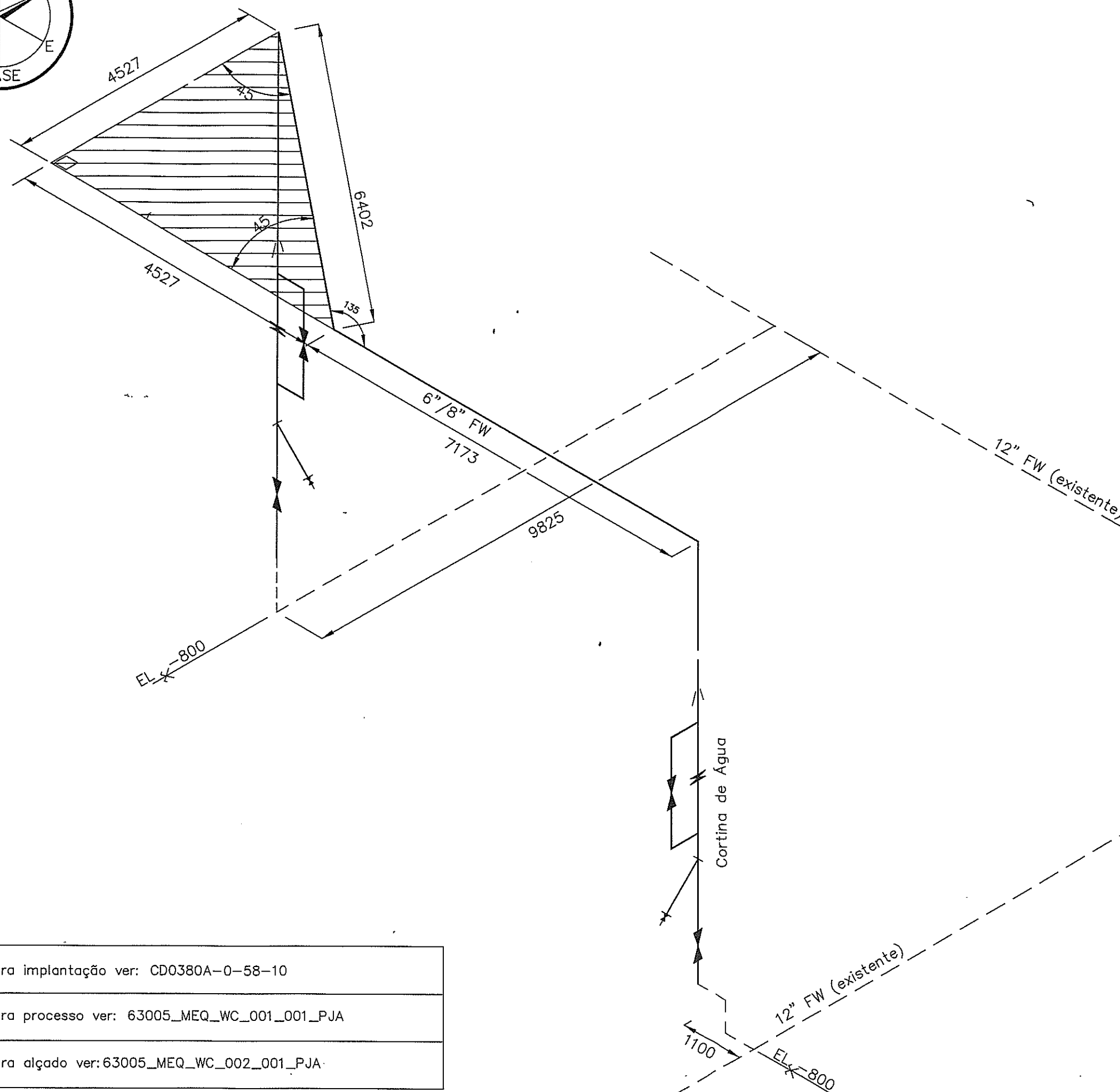
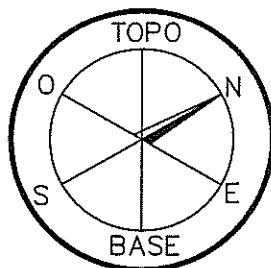
- [1] – F.M. Nabo, H. B. Vieira, F. Santana - *Avaliação da Refinaria de Matosinhos da Galp Energia* - Ministério do Ambiente do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional, 2005
- [2] – <http://www.arq.ufsc.br/arq5661/Metais/metais.html>, último acesso: Abril 2011
- [3] – <http://futureng.wikidot.com/galvanizacao>, último acesso: Abril 2011
- [4] – Pedro C. Silva Telles – *Tubulações Industriais Livros Técnicos e Científicos* – Editora S.A. 6ª Edição, 1982
- [5] – Pedro C. Silva Telles, Darcy G. Paula Barros – *Tabelas e Gráficos para Projectos de Tubulações* – Editora Interciência 2ª Edição, Rio de Janeiro, 1978
- [6] - J.F.Silva Gomes – *Mecânica dos Sólidos e Resistência dos Materiais* – Edições INEGI, 2004
- [7] – Yunus A.Çengel, John M.Cimbala – *Mecânica dos Fluídos* – McGraw Hill, 2007
- [8] – Simões Morais – *Desenho Técnico Básico* – Porto Editora, 2002
- [9] – A.J.M. Ferreira – *Problemas de Elementos Finitos em Matlab* – Fundação Calouste Gulbenkian, 2010
- [10] – O. C. Zienkiewicz – *The Finite Element Method* – Brasil: McGraw-Hill, 1977
- [11] – Kwon, Young W; Bang, H – *The Finite Element Method Using Matlab* – CRC Press, 1977
- [12] – Kattan, Peter – *Matlab Guide to Finite Elements* – Springer, 2008
- [13] – Naphtha, (petroleum), full-range straight run - *Material Safety Data Sheet* – 2006
- [14] – Naphtha, Aliphatic TT-N-95 Thype II - *Material Safety Data Sheet* – 2001
- [15] – Dirceu de Oliveira Martins – *Estudo do controle de emissões de compostos orgânicos voláteis em tanques de armazenamento de produtos químicos* – Universidade Federal da Bahia Escola Politécnica, 2004
- [16] – William F. Smith – *Princípios de Ciência e Engenharia dos Materiais* – McGraw Hill, 1998
- [17] – Pinto Soares – *Aços Características e Tratamentos* – 1992

- [18] – Samuel A. Bradford – *Corrosion Control* – Van Nostrand Reinhold, 1993
- [19] - ASM HandBook – *Volume 1 Properties and Selection: Irons Steels and High Performance Alloys* – ASM Internacional, 1993
- [20] – ASM HandBook – *Volume 13A Corrosion: Fundamentals, Testing and Protection* – ASM Internacional, 2003
- [21] – Anders Olsson – Ph.D. - *Utilizing High Strength Stainless Steel for Storage Tanks* - AvestaPolarit AB, 2003
- [22] – *Aluminum Internal Floating Roofs* - Allentech
- [23] – *Sandborn Internal Floating Roof Specification* – Sandborn Roofs Inc.
- [24] – *Storage Tank Internal Floating Roof and Seal* - Storagetechn®
- [25] – Publications Programs and Services – *Table of Contents* – API, 2011
- [26] – *Welded Steel Tanks for Oil Storage 650* – API, 1998
- [27] – *Environmental Code of Practice for Aboveground Storage Tank Systems Containing Petroleum Products* – National Task Force on Storage Tanks for the Canadian Council of Ministers of the Environment, 1994
- [28] – *BTE Heavy Duty Aluminium Internal Floating Roof*
- [29] – <http://www.powerofaluminium.com/html/alloys.htm>, último acesso: Junho 2011
- [30] – DynaGlass™ Fiberglass Reinforced Plastic – Wall and Ceiling Panels with Ceiling Suspension System – *Specification Guide* – Chicago Metallic Corporation, 2000
- [31] – <http://www.vapoloc.com/control-vapor-loss-with-dynaglass-ifr>, último acesso: Junho 2011
- [32] – <http://composite-laminates.com/phenolics-technical-data.htm>, último acesso: Junho 2011
- [33] – http://www.jjorly.com/g10_fr4_technical_specifications_data.htm, último acesso: Junho 2011
- [34] – <http://www.profwillian.com/materiais/propriedades.asp>, último acesso: Maio 2011
- [35] – Mark Baker - *Floating Roof Work Safety* – Baker Consulting Group, 2006
- [36] – *Floating Roof Design* – Sandborn Roofs Inc., 2009
- [37] – <http://www.ateco.com.tr/>, último acesso: Junho 2011
- [38] – <http://www.penta-tech.com/paper.htm>, último acesso: Abril 2011
- [39] – http://www.engineersedge.com/hydraulic/tank_internal_floating_roofs.htm, último acesso: Maio 2011
- [40] – http://www.hmttank.com/Products_Floating%20Roofs.htm, último acesso: Maio 2011
- [41] – <http://www.unitedind.com/Fixed-Roof-And-Floating-Roof-Tanks.html>, último acesso: Maio 2011

- [42] – <http://www.landandmarine.com/TankServProducts/InternalFloatingRoof.aspx>,
último acesso: Junho 2011
- [43] – <http://www.indiamart.com/tank-tech-asia/internal-floating-roof.html>, último
acesso: Junho 2011
- [44] – <http://www.cargotransfer.net/pages/products/ifr01.php>, último acesso: Junho
2011
- [45] – http://www.bakeraltech.com/gen_des.htm, último acesso: Junho 2011
- [46] – <http://ergil-storagetech.com/>, último acesso: Junho 2011
- [47] – <http://www.sandborn.ca/index.asp?pID=1>, último acesso: Junho 2011
- [48] – Paulo de Tarso R. Mendonça - *Análise Dinâmica pelo Método de Elementos Finitos* - Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, 2006
- [49] – Meireles, José – *Análise Dinâmica de Estruturas por Modelos de Elementos Finitos Identificados Experimentalmente* – Tese: Guimarães, 2007
- [50] – http://en.wikipedia.org/wiki/Storage_tank, último acesso: Junho 2011

Anexo A

Desenho em isométrica da cortina de água para isolamento da fornalha N°2401 – em CD.



Para implantação ver: CD0380A-0-58-10

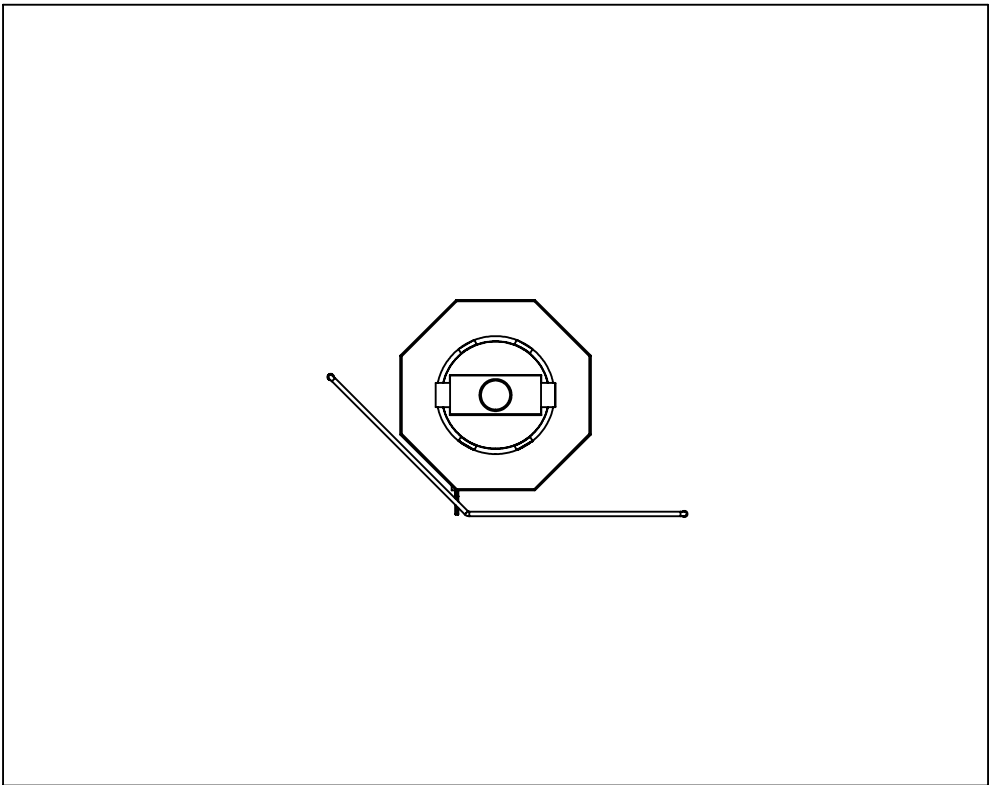
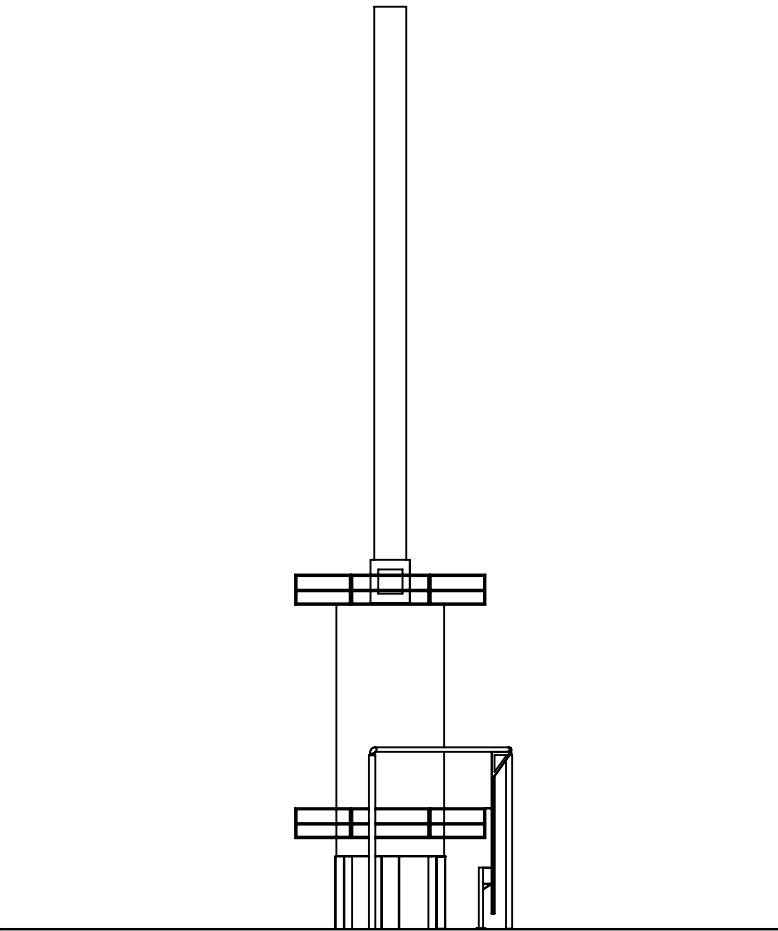
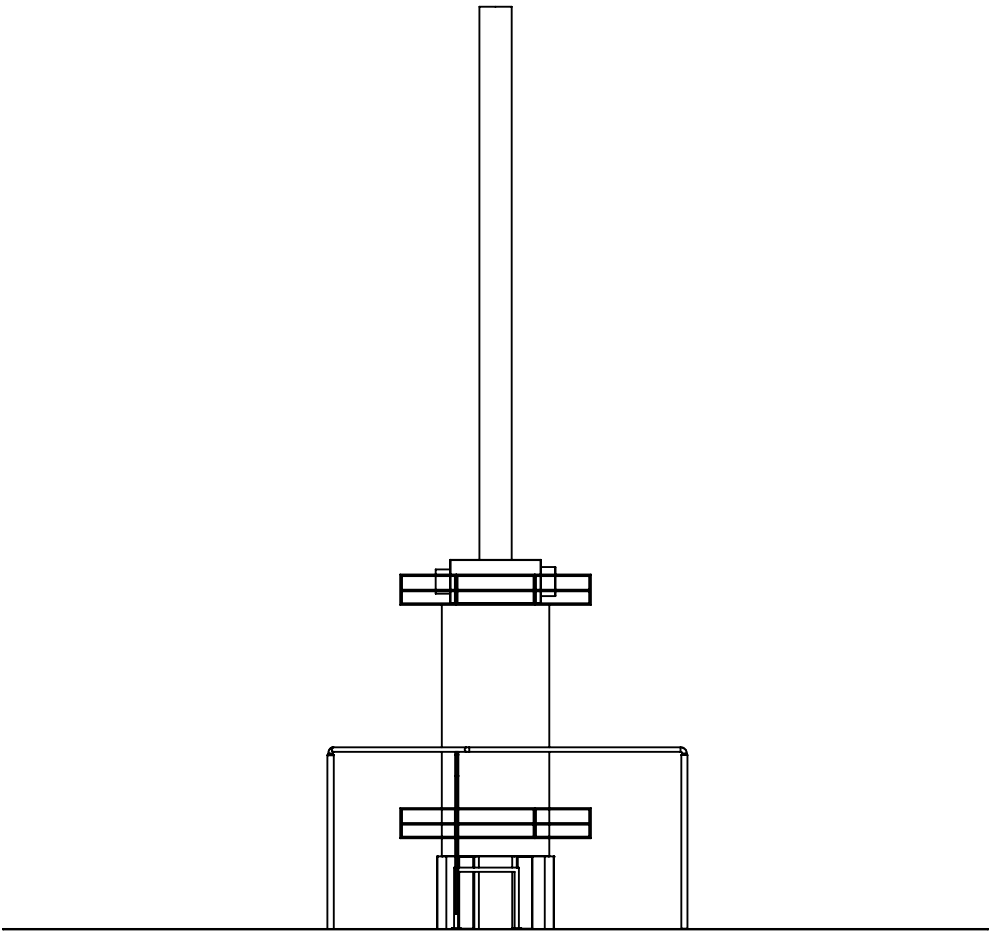
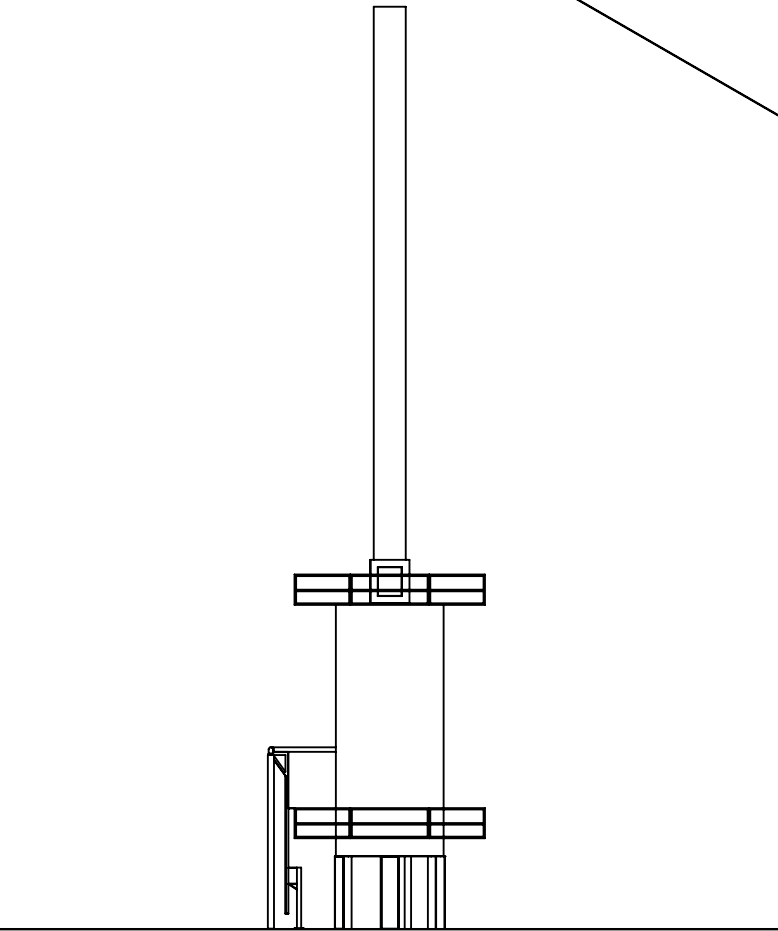
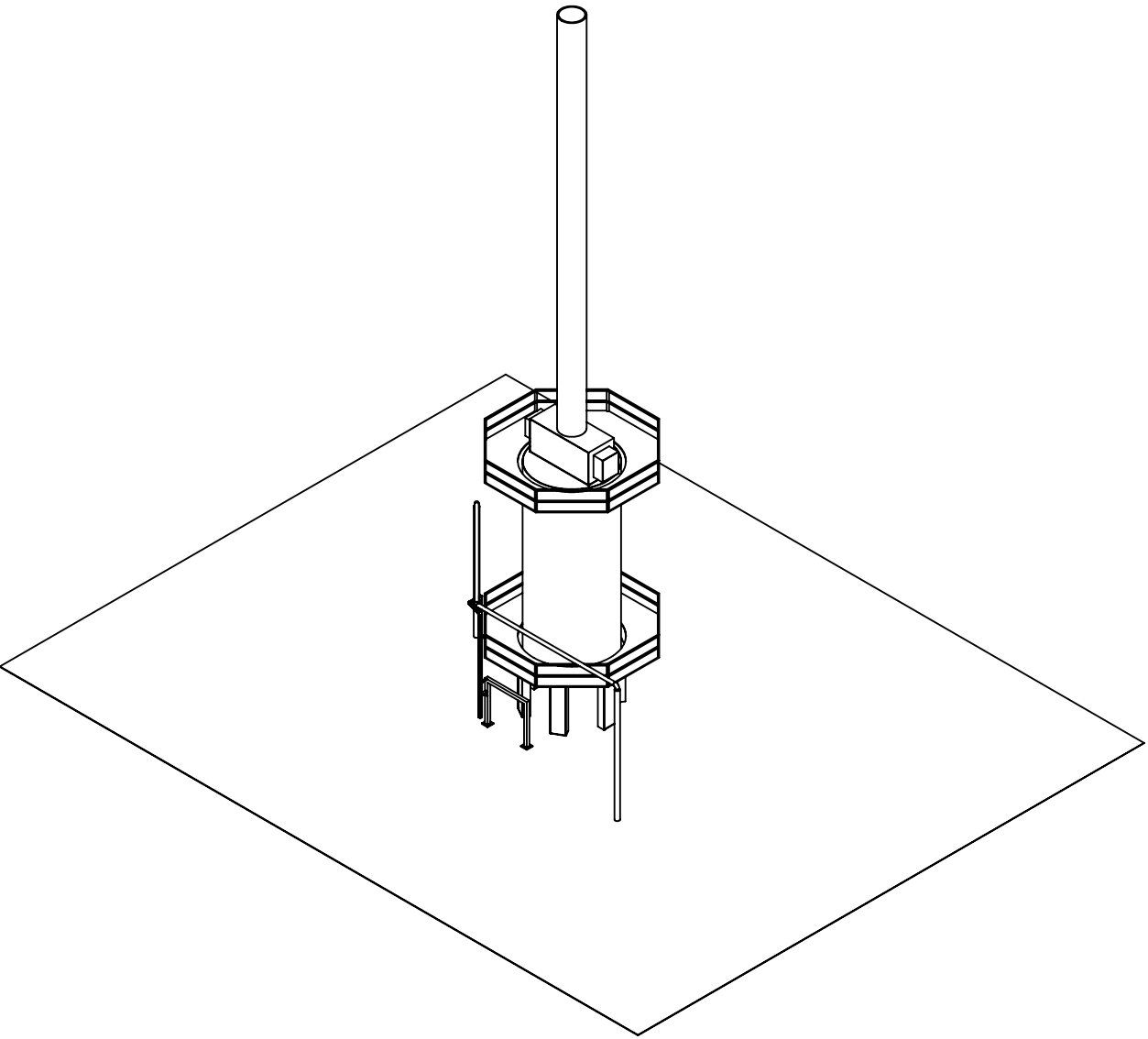
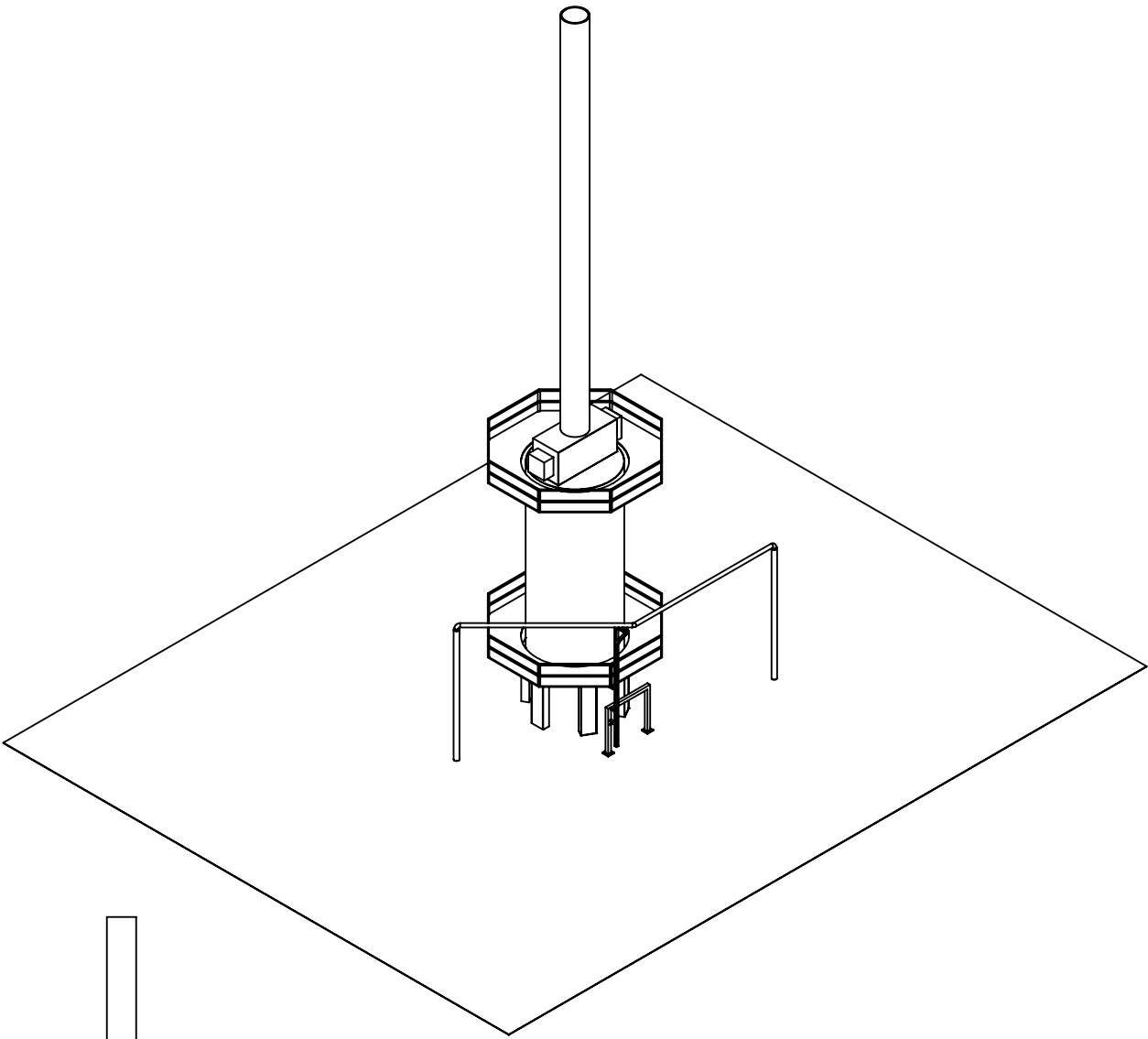
Para processo ver: 63005_MEQ_WC_001_001_PJA

Para alçado ver: 63005_MEQ_WC_002_001_PJA

Revisão	Descrição	Data	Rúbrica
Empresas do Consórcio:			
Entidade Adjudicante:			
Nome da Empresa:			Projectista:
Instalação de cortina de água na fornalha H-2401			
Título do Desenho:			
Instalação de cortina de água na fornalha H-2401			
UNIDADE 2400			Tratamento de Águas e Efluentes Industriais, S.A.
Isométrica das Ligações			
Projectou	JMA	Substitui des. nº	ESCALAS
Desenhou	PJA	Substituído por des. nº	DESENHO Nº
Verificou	JPS	Nº do arquivo	63005_MEQ_WC
		Cad. It. nº	003_001_PJA
			03005

Anexo B

Desenhos de construção mecânica da fornalha, cortina de água e apoio – em CD.



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:				FINISH:		DEBUR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
DRAWN				NAME		SIGNATURE		DATE		TITLE:	
CHK'D											
APP'VD											
MFG											
Q.A								MATERIAL:		WG NO.	
										Fornalha.Envolvente ^{A2}	
								WEIGHT:		SCALE:1:500	
										SHEET 1 OF 1	

Anexo C

Programas para as diversas soluções apresentadas em Matlab e Multiframe – em CD.

Anexo D

Artigos e Normas Consultadas – em CD.

Anexo E

Testes de corrosão da Nafta com diversos materiais – em CD.

Naphtha Storage Tanks – Aluminum Internal Floating Roof Modeling

Paulo Tiago Lopes Pereira

MEIM – Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

FEUP – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Petroleos de Portugal – Petrogal S.A.

Summary

Around the world and mainly in refineries, field-erected storage tanks are commonly used for temporary storage of large volumes of naphtha.

Naphtha is a petroleum product that it's used for several things.

It's extremely flammable and dangerous for the environment. So its storage must be carefully thought and in well ventilated areas. The storage tank must have several properties in order to prevent the safety of its surrounding, environment issues and corrosion.

Naphtha vapors are known for travelling long distances and being dangerous to health and damaging the environment.

One way of preventing the contamination of the air by the Naphtha Vapors is in the construction of a internal floatable roof inside the tank.

Contents

Introduction.....	4
1 – Naphtha.....	4
2 – Corrosion Behavior to Naphtha	5
2.1 – Synthetic Resins and Polymers.....	5
2.1.1 – Cellulose Acetates, Butyrates, Propionates	5
2.1.2 – Chlorinated Polyvinyl Chloride Pipe and Fittings-B.....	5
2.1.3 – Fiberglass Reinforced Isophthalic Polyester and Vinyl – Ester-Morrison.....	7
2.1.4 – Fiberglass Reinforced Polyester Panels-R	8
2.1.5 – Fluoropolymer – Allied Engineered Plastics	9
2.1.6 – Nylon 6/6 Resins – Celanese Plastics	10
2.1.7 – Polyester Laminates – Haysite Reinforced Plastics	10
2.1.8 – Polyethylene Resins – U.S.I. Chemicals	11
2.1.9 – Polyethylene Resins – SHELL CHEMICAL [9].....	11
2.1.10 – Polysulfone – Union Carbide.....	12
2.1.11 – Polyvinyl Chloride – Dayco.....	12
2.1.12 – Vinyl Ester Resins – Interplastic Corp. [12].....	13
2.1.13 – Epoxy and Polyester Pipe and Fittings – Ameron [13].....	13
2.1.14 – Polyester and Vinyl Ester Resins – Ashland [14].....	13
2.1.15 – Various Resins and Metals – Phillips Chemical [15]	14
2.2 – Rubbers and Elastomers.....	15
2.2.1 – Acrylic Elastomer – American Cyanamid	15
2.2.3 – Various Elastomers and Rubbers – Du Pont [18]	16
2.3 – Ferrous Alloys	16
2.3.1 – Various Stainless Steels and High Nickel Alloys – Climax Molybdenum [19] [20] [21] [22] [23].....	16
2.4 – Nonferrous Metals and Alloys.....	21
2.4.1 – Aluminum Alloys – Aluminum Association [26].....	21
2.4.2 – Magnesium – Dow Chemical.....	21
2.4.3 – Nickel Base Alloys – Cabot Wrought Products.....	22
2.5 – Glass, Ceramics and Carbon-Graphite	23
2.5.1 – Carbon-Graphite - U.S. Graphite	23
2.6 – Comparative Resistances of Materials of Construction.....	24

2.6.1 - Metal, Carbon, Ceramic, Rubber, Plastic and Wood Construction Materials – Corning [31] [32]	24
2.6.2 – Rubber, Resin, Steel, Aluminum, Lead, Glass, Concrete and Wood Lining Materials – Gates Rubber [33].....	25
2.6.3 – Iron, Bronze, Steel, Synthetic Resin and Rubber Pump Materials – ITT Jabsco [34]	25
2.6.4 – Glass, Metal and Plastic Piping Systems – Schott Process Systems [35].	26
2.6.5 – Resin, Steel, Alloy, Titanium, Ceramic, Ceramic, Rubber, Natural and Synthetic Fiber Pump and Filtration System Materials – Sethco [36]	26
2.6.6 – Plastic and Steel Pump Materials – Thompson-Chemtrol [37]	27

Introduction

Naphtha is a product that is obtained from the atmospheric distillation of crude oil and contains saturated and aromatic hydrocarbons.

It's classified as being Extremely Flammable, Carcinogenic (category 2), Mutagenic (category 2), Toxic to Reproduction (category 3), Irritant, Harmful and Dangerous for the environment.

Its temporary storage is very common in refineries, and it's usually made in storage tanks constructed from carbon steel. Normally the product it's at an ambient temperature so the insulation or heating of the tanks is not necessary. Also, the storage tanks of Naphtha are atmospheric and they need to be ventilated.

The existence of an internal floatable roof in the tanks will permit a reduction of Naphtha Vapors to the environment.

The construction of these roofs must have some requests because they will be in contact with the Naphtha. It's important to model and construct the roof with light materials that will not affect the product, which will not provoke corrosion at a near time, be strong enough to resist fatigue and has a not expensive construction.

The possible corrosion of the roof is the most important issue to consider not only because of the Naphtha in study has a small percentage of Sulfur (0.06%) but also because the different temperatures that the tank will suffer.

In this paper it will be reviewed several materials - preferably aluminum – for the panel construction having as main quality the resistance to corrosion.

1 – Naphtha

Corrosion is the damage to metal caused by reaction with its environment.

In a storage tank the material most used to store Naphtha is carbon steel because it has unique properties and has a good behavior against corrosion. Meanwhile, not only carbon steel can be used to store Naphtha. There are many types of steels and alloys that have stable reactions with Naphtha.

The floatable roof in study – to avoid large quantities of Naphtha vapors escape out of the tank – will be in a material different of carbon steel. The preference is aluminum because is resistant to Naphtha at ambient temperatures and has other quality properties, as it will be show in the next chapters. Meanwhile it will be presented other materials and their corrosion behavior with Naphtha.

2 – Corrosion Behavior to Naphtha

2.1 – Synthetic Resins and Polymers

2.1.1 – Cellulose Acetates, Butyrates, Propionates

TENITE® Butyrate

TENITE esters are cellulose derivatives of acetate, butyrate, and propionate. Tenite plastics for molding and extrusion are supplied in the form of pellets. These thermoplastic resins have good processability and finished articles may be resoftened by heat and reshaped by the application of suitable forces. [1]

Chemical Tested: Naphtha, Industrial

Results

Time Exposed: 1 month

Percentage Increase

Weight: 3.56

Thickness: 2.73

Observed Condition of the Plastic: Unchanged

2.1.2 – Chlorinated Polyvinyl Chloride Pipe and Fittings-B

The attached list is a compilation of chemical resistance data from three companies involved in the CPVC pipe, fittings and accessories market.

Since each company has used a different scheme to report their findings, the following key will be needed to interpret the data.[2]

Company A

E - Excellent to operating limit of material

G - Excellent to 80°F; Good to maximum operating limit of material

S - Good to BO°F.

L - Limited; may be used under certain conditions

U - Unsatisfactory; not recommended

Maximum operating limit is 180°F for pressure applications;
225°F for "on-pressure applications

Company B

1 - Good for 200°F (93°C)

2 - Good for 185°F (85°C)

3 - Good for 140°F (60°C)

4 - Good for 70°F (21°C)

Q - Questionable

NR - Not Recommended

Company C

R - Recommended

NR - Not Recommended

R* - Recommended to 210°F

Chemical Tested: Naphtha

Results

Company A: S

Company B: 3

Company C

At 73°F: R

At 185°F: -

2.1.3 – Fiberglass Reinforced Isophthalic Polyester and Vinyl – Ester-Morrison

MOLDED FIBER GLASS

EXTREN is a proprietary combination of fiberglass reinforcements and thermosetting polyester or vinyl ester resin systems produced in standard structural shapes and sheets by Morrison Molded Fiber Glass Company. EXTREN is widely used in industrial construction and maintenance, commercial construction, and as components of industrial equipment and commercial products. The information below is based on data collected from several years of actual industrial applications. In addition it is based on conservative evaluation of the changes which occur in certain properties of replicate laminates after exposures of one year or longer, both in the laboratory and the field, according to the American Society for Testing Materials (ASTM C-581). These properties include hardness, flexural strength, and flexural modulus. Surface stability is also a major characteristic and must be evaluated. [3]

CHEMICAL RESISTANCE – EXTREN

Series 500 and 525 - Isophthalic polyester

Series 625 - Vinyl ester

R = Resistant

NR = Not resistant

Chemical Tested: Naphtha

Results

Series 500 and 525

RT: R

160°F: R

Series 625

RT: R

160°F: R

2.1.4 – Fiberglass Reinforced Polyester Panels-R

RESOLITE CR panels are fiberglass-reinforced, polyester sheets in flat and various corrugated and ribbed configurations.

The polyester resin used in RESOLITE CR panels was developed to withstand chemical abuse in heavy-duty application. [4]

Chemical Tested: Naphtha

Results

Concentration Percent: 100%

Expect Resistance to

Vapor and Mist. Air: S

Splash and Spills: S

S means: Satisfactory with expected long and economic life

2.1.5 – Fluoropolymer – Allied Engineered Plastics

HALAR® ECTFE

HALAR ECTFE is a melt processable fluoropolymer from Allied Corporation. It possesses a unique combination of properties as a result of its chemical structure - a 1:1 alternating copolymer of ethylene and chlorotrifluoroethylene. HALAR fluoropolymer offers excellent chemical resistance, good electrical properties, broad use temperature range-from cryogenic to 340°F, and meets the requirements of the UL-94 V-O vertical flame test in thicknesses as low as 7 mils. It is a tough material with excellent impact strength over its broad use temperature range. HALAR ECTFE also maintains useful properties on exposure to cobalt 60 radiation at dosages of 200 megarads. It is one of the best fluoropolymers for abrasion resistance. HALAR fluoropolymer is a thermoplastic which can be processed by virtually any technique applicable with polyethylene. It can be extruded, injection molded, blow molded, rotomolded, and applied by ordinary fluidized bed or electrostatic coating techniques. It is available in a range of viscosity grades for extrusion and molding applications. HALAR ECTFE powders are available in three different particle sizes optimized for specific coating processes. [5]

Chemical Tested: Naphtha

Results

Temperature

73°F: R

150°F: R

250°F: R

300°F: R

R means: Recommended

2.1.6 – Nylon 6/6 Resins – Celanese Plastics

CELANESE 1000 series nylons are of the 6/6 type polyamides. They are used in the replacement of metals, offering reduced weight, corrosion resistance, self-extinguishing properties, self-lubricating qualities and colorability at substantially lower cost. [6]

NYLON 11 RESIN - RILSAN

Chemical Tested: Naphtha

Results

68°F: A

104°F: A

140°F: A+

A means: Good, Rilsan is unaffected

+ means: Swelling (Growth) Action

2.1.7 – Polyester Laminates – Haysite Reinforced Plastics

HCR-196 is a chemical resistant polyester laminate produced by the match metal molding of fiberglass mat, inert fillers and DERAKANEB470 resin. The DERAKANEB470 is a vinyl ester resin. [7]

Chemical Tested: Naphtha

Results

MAXIMUM SERVICE TEMPERATURE VS CHEMICAL ENVIRONMENT

Concentration: 100%

Maximum °F/°C: 210/99

2.1.8 – Polyethylene Resins – U.S.I. Chemicals

PETROTHENE resins are available across the entire range of polyethylene densities 0.91 to 0.96. The variations in density appear very small, but the effect of even a very small change in density on certain essential properties is very marked. There are many applications for which resins of higher density and many others for which those of lower density may be preferable. [8]

The three density ranges of polyethylene are:

Low density 0.910-0.925 g/cc

Medium density 0.926-0.940 g/cc

High density (linear) 0.941-0.965 g/cc

Chemical Tested: Naphtha

Results

Temperature:

70°F: S

140°F: U

S means: Satisfactory

U means: Unsatisfactory

2.1.9 – Polyethylene Resins – SHELL CHEMICAL [9]

Chemical Tested: Naphtha

Results

Exposure Temp., °F: 68

Exposure Performance: M

M means: Marginal

2.1.10 – Polysulfone – Union Carbide

UDEL Polysulfone is a high performance thermoplastic known for its high temperature resistance [300°F (149°C) UL listing for continuous use], hydrolytic stability, and excellent close tolerance moldability. Polysulfone also possesses good resistance to a wide variety of aggressive environmental conditions. In the most general terms, Polysulfone is highly resistant to aqueous mineral acids, alkali, and salt solutions. Resistance to detergents and hydrocarbon oils is good, even at elevated temperatures under moderate levels of stress. In polar organic solvents such as ketones, chlorinated hydrocarbons, and aromatic hydrocarbons, polysulfone will swell, dissolve, or stress-crack. [10]

Chemical Tested: Naphtha

Results

73 °F: R

140 °F: -

185 °F: -

210 °F: -

300 °F: -

R means: Recommended

2.1.11 – Polyvinyl Chloride – Dayco

PLIADUCT is a continuous, all plastic extruded strip, so shaped that when coiled, the edges interlock to form a rigid duct. It is flexible. Hand bend it to any position. It will remain in that position until bent again. Lightweight and durable, PLIADUCT has no wire or metal reinforcement. It will not corrode or oxidize. PLIADUCT is self-extinguishing.

Service temperature range is -10° to 150°F. [11]

Chemical Tested: Naphtha

Results

Temperature:

72 °F: R

140 °F: R

R means: Recommended

2.1.12 – Vinyl Ester Resins – Interplastic Corp. [12]

Chemical Tested: Naphtha

Results

Concentration by Weight: 100%

Maximum Recommend Temperature:

Resin VE 8100 and 8300: 180°F

Resin VE 8440: 180°F

Resin VE 8710: 180°F

Resin VE 8520: 180°F

Resin MVR 8000: 180°F

Resin MVR 8040: 180°F

Resin MVR 8050: 180°F

Resin MVR 8060: 180°F

2.1.13 – Epoxy and Polyester Pipe and Fittings – Ameron [13]

Chemical Tested: Naphtha

Results

Temperature Limit:

Series 2000 (Epoxy): 225°F

Series 4000 (Epoxy): 225°F

Series 5000 (Polyester): 180°F

Adhesive for Series 5000: RP-34

2.1.14 – Polyester and Vinyl Ester Resins – Ashland [14]

Resin Series, Characteristics and Suggested Applications in Table 1.

Chemical Tested: Naphtha

Results

Concentration: 100%

Service Temperature °F for Resin Types

Hetron 92/99P: 200°F

Hetron 72/197/197A: 200°F

Aropol 7240/7430 Series: 180/150 °F

Hetron 700/700C: 150°F

Hetron 920 Series/980: 180/200 °F

2.1.15 – Various Resins and Metals – Phillips Chemical [15]

Chemical Tested: Naphtha

Results

200°F Ryton: A

200°F Penton: A

200°F Kynar: A

200°F Teflon: A

200°F Polysulfone: -

200°F Noryl: -

200°F Nylon: -

200°F Polycarbonate: -

316 S.S.: A

Carbon Steel: A

Aluminum (3003): A

A means: Acceptable

Ratings are based on media at ambient temperatures (about 70°F) unless otherwise specified.

2.2 – Rubbers and Elastomers

2.2.1 – Acrylic Elastomer – American Cyanamid

CYANACRYL is especially noted for its ability to withstand most lubricating oils at 350°F (176°C). including those sulfur modified lubricants, essential in the performance of hot running modern cars. Other petroleum based oils, such as high and low aniline point lubricating aliphatic hydrocarbons offer opportunities for outstanding performance by CYANACRYL. Resistance to chlorinated hydrocarbons, degreasers, LP gases, fuel oils, animal and vegetable oils and silicate esters is very good. Aromatic hydrocarbons, such as toluol, have some moderate to severe effects but ketones, some alcohols and oxygenated solvents can cause severe swelling. Nonpetroleum based brake fluid, phosphate ester, and diester synthetic lubricants can have a severe effect so CYANACRYL should be tested in these environments before using. CYANACRYL shows “fair” resistance to dilute and concentrated acids and bases. Therefore, caution or a “test first” method is suggested when considering it for this type of application. [16]

Chemical Tested: Naphtha

Results

Volume Change (%) at Room Temperature

24 hours: 5.9%

2.2.2 – Fluroelastomer – Elkhart Rubber

In many applications, AFLAS outperforms other elastomers because of the following characteristics: (1) High temperature resistance (400°F long term; 550+°F shorter term); (2) Resistance to a wide range of chemicals (including acids, bases, steam, sour (H₂S) oil and gas with amine corrosion inhibitors, oils and lubricants, hydraulic fluids of all types, brake fluids, bleaches, oxidizing agents, alcohol, etc.); (3) Durable physical properties; (4) Excellent electrical resistance-Dielectric constant at 60 Hz of 2.5.

There are three grades of AFLAS. All provide essentially the same heat and chemical resistance but they differ in molecular weight (which can affect processing and physical properties). AFLAS 150E is the lowest molecular weight, AFLAS 150P is intermediate weight, and AFLAS IOOH is the highest molecular weight. AFLAS 100H is generally recommended for optimal extrusion, gas blistering, and compression set resistance. [17]

Chemical Tested: Naphtha

Results

Test Condition

Temp °F: 73°F

Time Days: 7

Property Retention after Test

Volume Change (%): 4.0

2.2.3 – Various Elastomers and Rubbers – Du Pont [18]

Chemical Tested: Naphtha

Results

Nypalon: C

Hytrel: A

Neopreme: C

Mordel: C

Vamac: X

Viton: A (158°F)

A means: Fluid has little or no effect

C means: Fluid has severe effect

X means: No data – not likely to be compatible

2.3 – Ferrous Alloys

2.3.1 – Various Stainless Steels and High Nickel Alloys – Climax Molybdenum [19] [20] [21] [22] [23]

Chemical Tested: Sour Naphtha, Water, Hydrogen Sulfide and Chlorides

Results

Type of Test: F

Average Temperature (°F): 390°F

Duration (Days): 167

Aeration: -

Agitation: x

Average Corrosion Rates (ipy)

Type 304: 0.0005c

Type 316: <0.0001c

Type 317: -

“20”: -

Alloy 825: -

F means: Field or pilot plan test

- means: none

x means: Slight to moderate

c means: Severe pitting (maximum depth of pits over 0.010 in.)

Chemical Tested: Naphtha Feed, Sulfur 0.01%-0.02%, Pressure 520 psig

Results

Type of Test: F

Average Temperature (°F): 600-750°F

Duration (Days): 258

Aeration: -

Agitation: x

Average Corrosion Rates (ipy)

Type 304: 0.0002

Type 316: 0.0002

Type 317: -

“20”: 0.0006

Alloy 825: 0.0003

F means: Field or pilot plan test

- means: none

x means: Slight to moderate

c means: Severe pitting (maximum depth of pits over 0.010 in.)

Chemical Tested: Virgin Naphtha Feed, Hydrogen Sulfide 5 grams; 100 cc 11 average, Recycle Gas IS 35% of charge and contains 79 mol% Hydrogen, pressure 310 psi

Results

Type of Test: F

Average Temperature (°F): 910°F

Duration (Days): 90

Aeration: -

Agitation: x

Average Corrosion Rates (ipy)

Type 304: 0.0024

Type 316: 0.0025

Type 317: -

“20”: -

Alloy 825: -

F means: Field or pilot plan test

- means: none

x means: Slight to moderate

c means: Severe pitting (maximum depth of pits over 0.010 in.)

Chemical Tested: Naphtha 400 API. Some Hydrogen Sulfide and aliphatic acids after vapor-phase clay treatment

Results

Type of Test: F

Average Temperature (°F): 100°F

Duration (Days): 400

Aeration: -
Agitation: -
Average Corrosion Rates (ipy)
Type 304: <0.0001
Type 316: <0.0001
Type 317: -
“20”: <0.0001
Alloy 825: <0.0001

F means: Field or pilot plan test
- means: none
x means: Slight to moderate
c means: Severe pitting (maximum depth of pits over 0.010 in.)

Chemical Tested: Naphtha. IBP 257 F. EP 400 F, specific gravity 47.3, sulfur 0.008%. Small amounts of dissolved ammonia. Traces of water and hydrogen sulfide (sump of top tray of column)

Results

Type of Test: F
Average Temperature (°F): 320°F
Duration (Days): 538
Aeration: -
Agitation: x
Average Corrosion Rates (ipy)
Type 304: <0.0001b
Type 316: <0.0001a
Type 317: -
“20”: -
Alloy 825: -

F means: Field or pilot plan test
- means: none
x means: Slight to moderate
a means: Slight pitting (maximum depth of pits from incipient to 0.005 in.)
b means: Moderate pitting (maximum depth of pits from 0.005 to 0.010 in.)

Chemical Tested: Heavy Naphtha from West Texas crude sulfur 0.4-0.5%. Hydrogen Sulfide. Traces of Hydrochloric Acid, Carbon Dioxide and Water.

Results

Type of Test: F
Average Temperature (°F): 85°F
Duration (Days): 156
Aeration: x
Agitation: -

Average Corrosion Rates (ipy)

Type 304: <0.0001d

Type 316: <0.0001d

Type 317: <0.0001

“20”: -

Alloy 825: -

F means: Field or pilot plan test

- means: none

x means: Slight to moderate

d means: Crevice attack (tendency to concentration cell corrosion)

Chemical Tested: Light Petroleum Naphtha. Cracked (top tray of bubble tower)

Results

Type of Test: F

Average Temperature (°F): 230°F

Duration (Days): 215

Aeration: ..

Agitation: ..

Average Corrosion Rates (ipy)

Type 304: 0.0167cd; 0.0133*cd

Type 316: 0.0186cd

Type 317: ..

“20”: ..

Alloy 825: ..

F means: Field or pilot plan test

- means: none

x means: Slight to moderate

c means: Severe pitting (maximum depth of pits over 0.010 in.)

d means: Crevice attack (tendency to concentration cell corrosion)

* means: Type 302 or Type 304 with carbon over the standard maximum

Chemical Tested: Light Naphtha (top of tower, vapors)

Results

Type of Test: F

Average Temperature (°F): 200-300°F

Duration (Days): 750

Aeration: ..

Agitation: ..

Average Corrosion Rates (ipy)

Type 304: 0.0001bd

Type 316: 0.0004ad

Type 317: ..

“20”: ..

Alloy 825: <0.0001a

F means: Field or pilot plan test

- means: none

x means: Slight to moderate

a means: Slight pitting (maximum depth of pits from incipient to 0.005 in.)

b means: Moderate pitting (maximum depth of pits from 0.005 to 0.010 in.)

d means: Crevice attack (tendency to concentration cell corrosion)

Chemical Tested: Light Naphtha, ammonia. Hydrogen Sulfide. Water. Chlorides
Trace. Pressure 45 psig

Results

Type of Test: F

Average Temperature (°F): 100°F

Duration (Days): 369

Aeration: -

Agitation: xx

Average Corrosion Rates (ipy)

Type 304: L nil

Type 316: L nil

Type 317: ..

“20”: ..

Alloy 825: ..

F means: Field or pilot plan test

- means: none

xx means: Rapid

L means: Low carbon grade (0.03% C max.)

Chemical Tested: Virgin Naphtha Stock. Hydrogen 24 vol.%, Hydrogen Sulfide
0.21%. Hydrocarbons Remainder, small amounts of ammonia and Hydrochloric Acid.

Results

Type of Test: F

Average Temperature (°F): 576°F

Duration (Days): 150

Aeration: -

Agitation: xx

Average Corrosion Rates (ipy)

Type 304: 0.0014

Type 316: ...

Type 317: ..

“20”: ..

Alloy 825: ..

F means: Field or pilot plan test

- means: none

xx means: Rapid

2.4 – Nonferrous Metals and Alloys

2.4.1 – Aluminum Alloys – Aluminum Association [26]

Corrosion Rate Units: The most commonly accepted unit for expressing the rate of corrosion of a metal is mils per year, abbreviated mpy. One mil is equal to 0.001”.

Resistant = less than 1 mpy attack

Mild action = 1-5 mpy attack

Moderate action = 5-20 mpy attack

Corrosive or corroded by = greater than 20 mpy

Chemical Tested: Naphtha

Results

Limited laboratory tests indicated that alloys 1100, 3003, 5052 and 6061 were resistant to naphtha at ambient temperature. Naphtha has been handled in aluminum alloy stills, fractionators, dephlegmators, heat exchangers, condensers, and tanks.

2.4.2 – Magnesium – Dow Chemical

The concentration of the chemical is shown in percent. Values of 100% refer to the pure substance in dry or liquid form. Concentrations less than 100% refer to water solutions of the chemical

A “Yes” in this column means that magnesium is basically resistant to the chemical or that laboratory tests have shown enough promise to warrant testing under actual service conditions. [27]

Chemical Tested: Naphtha

Results

Concentration: 100%

Service Test Warranted: Yes

2.4.3 – Nickel Base Alloys – Cabot Wrought Products

HASTELLOY® alloy B-2 - An improved wrought version of HASTELLOY alloy B. Alloy B-2 has the same excellent corrosion resistance as alloy B, but with improved resistance to knife-line and heat-affected zone attack. This alloy resists the formation of grain-boundary carbide precipitates in the weld heat-affected zone, thus making it suitable for most chemical process applications in the as-welded condition. Alloy B-2 also has excellent resistance to pitting and stress-corrosion cracking. It is particularly well suited for equipment handling hydrogen chloride gas, and hydrochloric, sulfuric, acetic, and phosphoric acids. [28]

Material Tested: Naphtha

Results

Concentration Percent: 100%

Temperature: 75°F

Hastelloy® Alloy

B/B-2: S

Material Tested: Naphtha, Solvent

Results

Concentration Percent: 96%

Temperature: 160-180°F

Hastelloy® Alloy

B/B-2: E

Conditions: In vapor space of still column. Some Nitrogen Oxides possibly evolved.

E – Excellent - Less than 2 mills (0.05mm) penetration per year;

G – Good - 2 to 10 mills (0.05 to 0.25mm) penetration per year;

S – Satisfactory - Over 10 to 20 mills (>0.25 to 0.51mm) penetration per year;

B – Borderline - Over 20 to 50 mills (>0.51 to 1.27mm) penetration per year;

U – Unsatisfactory - More than 50 mills (1.27mm) penetration per year;

- means: No Data

2.4.2. – Nickel Base Alloys – Wall Colmonoy [29]

Material Tested: Naphtha

Results: Resistant

2.5 – Glass, Ceramics and Carbon-Graphite

2.5.1 – Carbon-Graphite - U.S. Graphite

GRAPHITAR is the U.S. Graphite, Inc. trade name for a family of carbon-graphite (mechanical carbon) products. These materials are made by blending carbon and/or graphite powders with a hydrocarbon binder, pressing the mass into the desired shape and furnacing the molded forms at temperatures approximating 2000°F. The result is a material which is highly resistant to wear, chemically inert and thermally stable. Ideal characteristics for many engineering requirements. [30]

See Table 2 and Table 3.

Chemical Tested: Naphtha

Results

Graphilar Category Suggested: A B C D – F

2.6 – Comparative Resistances of Materials of Construction

2.6.1 - Metal, Carbon, Ceramic, Rubber, Plastic and Wood Construction Materials – Corning [31] [32]

ROOM TEMPERATURES ASSUMED UNLESS OTHERWISE STATED

METALS	CHEMICAL TESTED: NAPHTHA, Petroleum
Carbon Steel	Very Good Service
304 Stainless Steel; Fe, 18Cr, 8Ni	Very Good Service
316 Stainless Steel; Fe, 16Cr, 10Ni, 2Mo	Very Good Service
347 Stainless Steel; Fe, 17Cr, 9Ni, (Cx10)Cb	Very Good Service
N1 Resist Iron; Fe, 14Ni, 2Cr, 2Si	Very Good Service
Durimet 20 Carpenter 20; Fe, 4Cu, 20Cr, 29Ni, 2Mo, Si	Very Good Service
Duriron; Fe, 14Si, Durichlor, Fe, 14Si, 3Mo	Very Good Service
Copper, Brass; Bronzes, Everdur	Very Good Service
Aluminum; A1 (and Alloys)	Very Good Service
Monel; 67Ni, 30Cu, 1.4Fe	Moderate Service
Nickel; Ni	Moderate Service
Inconel; 76Ni, 15Cr, 8Fe	Moderate Service
Hastelloy B; Ni, 26Mo, 4Fe	Very Good Service
Hastelloy C; Ni, 16Mo, 4Fe, 14Cr, 4W	Very Good Service
Hastelloy D; Ni, 8Si, 3Co	Very Good Service
Chlorimet 3; 3Fe, Si, 60Ni, 18Mo, 18Cr	Very Good Service
Chlorimet 2; 63Ni, 32Mo, 3Fe, Si	Very Good Service
CARBONS and CERAMICS	
Carbon & Graphite;	Very Good Service
Glass, "Pyrex" brand	Very Good Service
Silicaware	Very Good Service
Chemical Stoneware	Very Good Service
Chemical Porcelain	Very Good Service
RUBBERS	
Hard Rubber (Natural)	Limited or
Soft Rubber (Natural)	Unsatisfactory
Neoprene	Very Good Service
Butadiene Derivatives	Very Good Service
Viton	Moderate Service
Asphaltic; Bitumastic	Unsatisfactory
THERMOPLASTICS	

Cellulose Nitrate	Very Good Service
Acrylic (Lucite, Plexiglas)	Very Good Service
Polyvinyl Chloride, Rigid or Unplast	Very Good Service
Kel-F (Polytrifluorochloroethylene)	Very Good Service
Teflon (Polytetrafluoroethylene)	Very Good Service
Penton (Chlorinated Polyether)	Very Good Service

2.6.2 – Rubber, Resin, Steel, Aluminum, Lead, Glass, Concrete and Wood Lining Materials – Gates Rubber [33]

Chemical Tested: Naphtha

Results

Concentration: 100%

Soft Natural Rubber: Not Recommended

Hard Natural Rubber: Not Recommended

Chlorobutyl: Not Recommended

Neoprene: Not Recommended

Nitrile: 80°F

PVC: Not Recommended

Fiberglass Resins: 100°F

Mild Steel: 75°F

316 Stainless: 70°F

Aluminum: 75°F

Lead: No information

Glass: 75°F

Concrete: Not Recommended

Wood: No information

2.6.3 – Iron, Bronze, Steel, Synthetic Resin and Rubber Pump Materials – ITT Jabsco [34]

Chemical Tested: Naphtha

Results

Bodies Shafts, etc.

Cast Iron: A

Bronze: A

316 Stainless: A

Phenolic: A

Epoxy: A

Impellers

PVC: A

Neoprene: N
Viton (-59): A

A means Satisfactory.

C means May be suitable dependent on concentration and temperature.

N means Not recommended.

2.6.4 – Glass, Metal and Plastic Piping Systems – Schott Process Systems [35]

Chemical Tested: Naphtha, Petroleum

Results

Glass, "KLIMAX®" Brand & Duran: A (400°F)
Duriron; Fe, 14 S; Durichter, Fe, 14Si, 3 Mo: B (450°F)
304 Stainless Steel; Fe, 18Cr, 8Ni: A (450°F)
Teflon (Polytetrafluoroethylene): A (450°F)
Polyethylene: F (150°F)
Polyvinyl Chloride Rigidon Unplast: A (150°F)
Polypropylene: F (180°F)
Cer-Vit® C-126: A (450°F)

A means: Very Good Service

B means: Moderate Service

C means: Limited or Variable Service

F means: Unsatisfactory

2.6.5 – Resin, Steel, Alloy, Titanium, Ceramic, Rubber, Natural and Synthetic Fiber Pump and Filtration System Materials – Sethco [36]

Chemical Tested: Naphtha

Results

CPVC: B
PVC: B
Epoxy: A
Polypro: C
Noryl (PPO): X
Lucite: E
Kynar: A
Teflon: A
SS 316: A
Carp 20: A
Hast.C: A
Titanium: A

Ceramic: A
Neoprene: E
Bunan: D
Hypalon: E
Viton: A
Dynel: X
Cotton: A
Orlon: X
Nylon: X

A means: Excellent
B means: Good
C means: Good at 80°F
E means: Not Recommended
X means: Unknown

2.6.6 – Plastic and Steel Pump Materials – Thompson-Chemtrol [37]

Chemical Tested: Naphtha

Results

PVDC: C
Type 316 Stainless Steel: A
Hastelloy C-276: A
Teflon: A

A means: Excellent
C means: Good to 80°F

References

- [1] – D.J. Renzo – *Corrosion Resistant Materials Handbook* – Noyes Data Corporation, pág. 24, 1985
- [2] – D.J. Renzo – *Corrosion Resistant Materials Handbook* – Noyes Data Corporation, pág. 29, 1985
- [3] – D.J. Renzo – *Corrosion Resistant Materials Handbook* – Noyes Data Corporation, pág. 49, 1985
- [4] – D.J. Renzo – *Corrosion Resistant Materials Handbook* – Noyes Data Corporation, pág. 50, 1985
- [5] – D.J. Renzo – *Corrosion Resistant Materials Handbook* – Noyes Data Corporation, pág. 57, 1985
- [6] – D.J. Renzo – *Corrosion Resistant Materials Handbook* – Noyes Data Corporation, pág. 71, 1985
- [7] – D.J. Renzo – *Corrosion Resistant Materials Handbook* – Noyes Data Corporation, pág. 109, 1985
- [8] – D.J. Renzo – *Corrosion Resistant Materials Handbook* – Noyes Data Corporation, pág. 115, 1985
- [9] – D.J. Renzo – *Corrosion Resistant Materials Handbook* – Noyes Data Corporation, pág. 133, 1985
- [10] – D.J. Renzo – *Corrosion Resistant Materials Handbook* – Noyes Data Corporation, pág. 148, 1985
- [11] – D.J. Renzo – *Corrosion Resistant Materials Handbook* – Noyes Data Corporation, pág. 150, 1985
- [12] – D.J. Renzo – *Corrosion Resistant Materials Handbook* – Noyes Data Corporation, pág. 164, 1985
- [13] – D.J. Renzo – *Corrosion Resistant Materials Handbook* – Noyes Data Corporation, pág. 172, 1985
- [14] – D.J. Renzo – *Corrosion Resistant Materials Handbook* – Noyes Data Corporation, pág. 179, 1985
- [15] – D.J. Renzo – *Corrosion Resistant Materials Handbook* – Noyes Data Corporation, pág. 248, 1985
- [16] – D.J. Renzo – *Corrosion Resistant Materials Handbook* – Noyes Data Corporation, pág. 284, 1985
- [17] – D.J. Renzo – *Corrosion Resistant Materials Handbook* – Noyes Data Corporation, pág. 285, 1985
- [18] – D.J. Renzo – *Corrosion Resistant Materials Handbook* – Noyes Data Corporation, pág. 300, 1985
- [19] – D.J. Renzo – *Corrosion Resistant Materials Handbook* – Noyes Data Corporation, pág. 511, 1985
- [20] – D.J. Renzo – *Corrosion Resistant Materials Handbook* – Noyes Data Corporation, pág. 513, 1985
- [21] – D.J. Renzo – *Corrosion Resistant Materials Handbook* – Noyes Data Corporation, pág. 514, 1985
- [22] – D.J. Renzo – *Corrosion Resistant Materials Handbook* – Noyes Data Corporation, pág. 529, 1985
- [23] – D.J. Renzo – *Corrosion Resistant Materials Handbook* – Noyes Data Corporation, pág. 529, 1985
- [24] – D.J. Renzo – *Corrosion Resistant Materials Handbook* – Noyes Data Corporation, pág. 529, 1985

- [25] – D.J. Renzo – *Corrosion Resistant Materials Handbook* – Noyes Data Corporation, pág. 530, 1985
- [26] – D.J. Renzo – *Corrosion Resistant Materials Handbook* – Noyes Data Corporation, pág. 622, 1985
- [27] – D.J. Renzo – *Corrosion Resistant Materials Handbook* – Noyes Data Corporation, pág. 663, 1985
- [28] – D.J. Renzo – *Corrosion Resistant Materials Handbook* – Noyes Data Corporation, pág. 692, 1985
- [29] – D.J. Renzo – *Corrosion Resistant Materials Handbook* – Noyes Data Corporation, pág. 728, 1985
- [30] – D.J. Renzo – *Corrosion Resistant Materials Handbook* – Noyes Data Corporation, pág. 786, 1985
- [31] – D.J. Renzo – *Corrosion Resistant Materials Handbook* – Noyes Data Corporation, pág. 799, 1985
- [32] – D.J. Renzo – *Corrosion Resistant Materials Handbook* – Noyes Data Corporation, pág. 803, 1985
- [33] – D.J. Renzo – *Corrosion Resistant Materials Handbook* – Noyes Data Corporation, pág. 832, 1985
- [34] – D.J. Renzo – *Corrosion Resistant Materials Handbook* – Noyes Data Corporation, pág. 842, 1985
- [35] – D.J. Renzo – *Corrosion Resistant Materials Handbook* – Noyes Data Corporation, pág. 883, 1985
- [36] – D.J. Renzo – *Corrosion Resistant Materials Handbook* – Noyes Data Corporation, pág. 887, 1985
- [37] – D.J. Renzo – *Corrosion Resistant Materials Handbook* – Noyes Data Corporation, pág. 890, 1985

Graphitar Grades by Chemical compatibility category.

A		B		C		D	E	F
2	64	14	77	101	2831	2767	2690	111
3	67	35	86	102	2832	2840	2866	112
18	75	38	88	103	2833	2864	2936	113
30A	80	39	89	105	2835	2865	2980	114
34	84	40	92	107	2837		3048	
48	110	47	94	109	2859			
	2413	70	95		2887			
		108			2957			
					3030			

RESIN SERIES	CHARACTERISTICS	SUGGESTED APPLICATIONS
HETRON 92	Maximum fire retardancy. Class I flame spread can be achieved. Good corrosion resistance.	Primarily for severe fume handling equipment to 250° F.
HETRON 197	Halogenated polyester. Maximum corrosion and heat resistance. Class I or II flame spread can be achieved.	All equipment where maximum corrosion and heat resistance are required -- intermittent service to about 600° F; continuously in 350° F range. Excellent for hot wet chlorine and other highly oxidizing environments.
HETRON 72	Similar to HETRON 197 series.	General corrosion resistant equipment. Linings, coatings, toppings.
HETRON 700	Bisphenol-A Fumarate resins. Excellent corrosion resistance. Non-fire retardant.	All corrosion resistant equipment except fume handling systems to about 250° F. Ideal for caustic and hypochlorite.
HETRON 900	Vinyl ester resins. Non-fire retardant. Excellent corrosion resistance.	All equipment except fume handling systems to about 250° F.
AROPOL 7240 Series (Includes 7241 and 7242)	Isophthalic resins. Non-fire retardant. Moderate corrosion resistance.	All equipment except fume handling systems to about 180° F. AROPOL 7242 can be used for FDA applications.
AROPOL 7430 Series (Includes 7530 and 7532)	Resilient isophthalic resins. Non-fire retardant. Moderate corrosion resistance.	All equipment except fume handling systems to about 150° F. Excellent for filament winding applications.
HETRON 99P	Fire retardant/isophthalic with good corrosion resistance. Class I flame spread can be achieved.	For fume handling equipment to 250° F.

GRAPHITAR SEAL GRADES

GRAPHITAR GRADE	TYPICAL APPLICATIONS
Grade 30A	For low to medium pressure oil sealing applications. This grade has relatively high porosity, which aids seal face lubrication.
Grade 38	For low to medium pressure applications. Grade 38 is relatively easy to mold and is most economical in many applications.
Grade 39	A universal grade for use in high pressure applications. Can be used to seal almost any medium except very strong oxidizing or alkaline agents. Grade 39 is the hardest of all GRAPHITAR grades, with a scleroscope reading of 105.
Grade 67	Similar to grade 30A in low to medium pressure applications.
Grade 70	Similar in many respects to grade 38, this grade will also perform well in non-lubricated service such as sealing air.
Grade 86	A universal grade for lubricated or non-lubricated service. Grade 86 offers excellent compressive strength, an extremely low porosity and excellent wear resistance.
Grade 114	A very strong, hard grade which is resistant to any chemical in which GRAPHITAR can function at all. Frequently used in sealing gasses.
Grade 2690	A high temperature material for seal applications which exceed 700°F. Grade 2690 is used almost exclusively for sealing high temperature gasses.
Grade 3048	Superior for aircraft engine main shaft seals. Combines excellent lubricity with good oxidation resistance for long service life.

Anexo F

Diferenças entre Tectos Exteriores Flutuantes e Tectos Interiores Flutuantes

Uma das principais diferenças entre os tectos interiores de alumínio e os tectos exteriores de aço ao carbono é o volume útil de armazenamento. Que ronda os 91/138 cm. Esta diferença é significativa considerando tanques com o mesmo diâmetro (Ilustração 27).

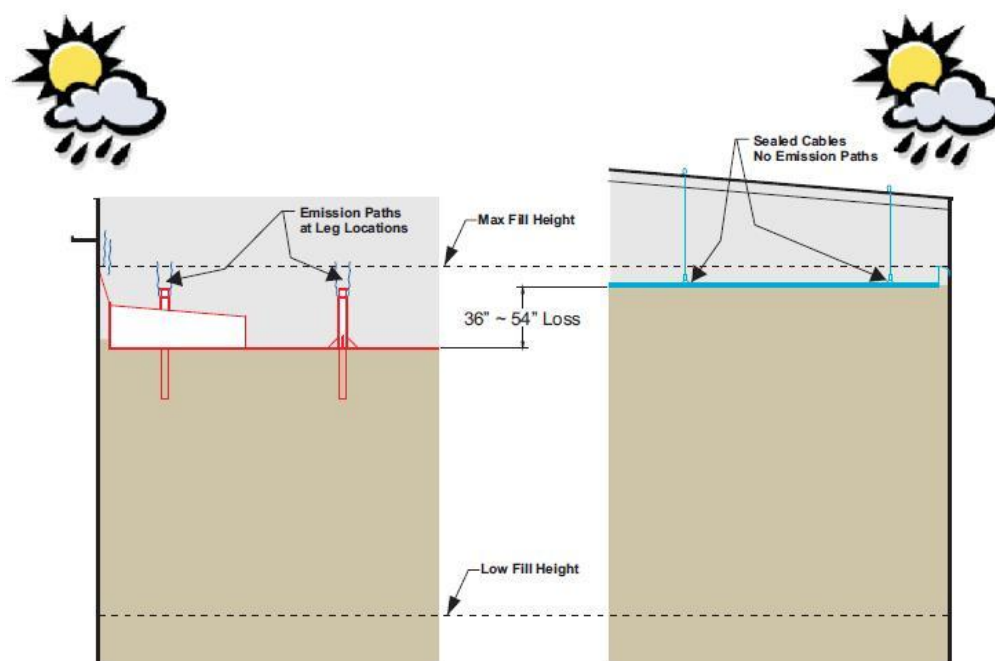


Ilustração 34 – Diferença entre o volume de armazenamento entre um tecto exterior flutuante e um tecto interior flutuante

Na escolha de tanques com tecto exterior ou interior é também importante levar em conta o impacto das emissões de vapores químicos que são libertados. Estas emissões dependem da estrutura do tanque, da pressão dos vapores, condições atmosféricas (calor/vento) e design do

tecto flutuante – vedações primárias e secundárias, tipo de suportes (pernas, cabos), escadas de acesso e postes de guia e construção da estrutura do tecto (soldada, aparafusada).

Tectos exteriores flutuantes são sujeitos a taxas de perda de vapores mais elevadas que os tectos interiores, devido à radiação solar e efeito de vácuo e da circulação de ar, vento a que estão sujeitos. Na Tabela 4 é possível verificar que um tanque com tecto exterior em aço tem 27% de perdas de vapor que um tanque do mesmo diâmetro com um tecto interior flutuante.

	Perdas de Emissões (kgs por Ano)					
Anos	1	5	10	15	20	25
TEF	3392	16964	33928	50893	67857	84821
TIF	2490	12451	24902	37353	49804	62255
Diferença	902	4513	9026	13540	18053	22566

Tabela 5 – Diferença de Perdas de Emissões de Vapores entre um TFE e um TFI. Dados relativos a crude e fornecidos pela EPA (Environmental Protection Agency – Estados Unidos)

Por fim é de salientar que outra diferença entre estes dois tipos de tecto reside na manutenção. Vedações, escadas de acesso, sistemas de drenagem, suportes e outros tantos componentes existentes em tanques exteriores e interiores têm de ser substituídas em ciclos que podem ir dos 10 aos 20 anos de utilização.

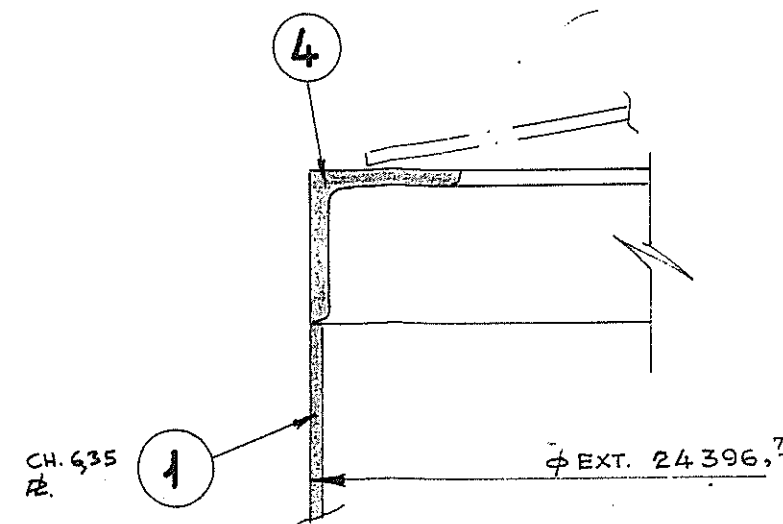
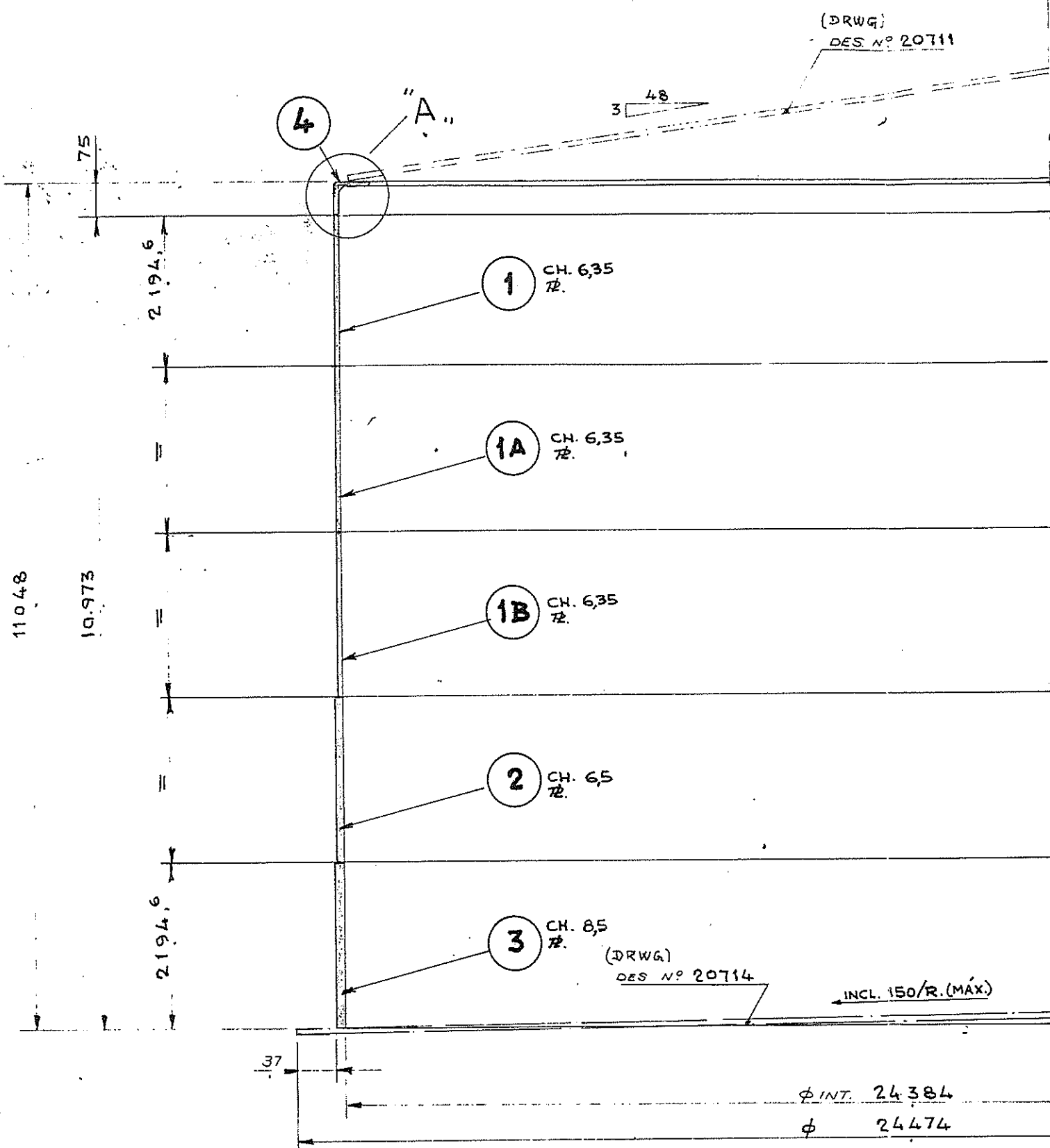
Na Tabela 5 é possível verificar que um tecto interior flutuante acarreta menos 37% de custos relativamente a um tecto exterior flutuante no que diz respeito à substituição de uma vedação de perímetro do tecto em ambos os diferentes designs. [23]

	Custos Manutenção (Euros)	
Anos	20	40
TEF Vedação	102400	204824
TIF Vedação	38714	77436
Diferença	63686	127388

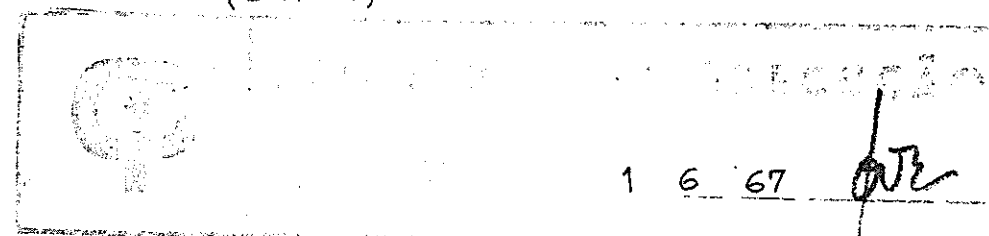
Tabela 6 – Custos de Manutenção entre um TFE e um TFI em termos de vedação. Dados relativos a um estudo americano ano 2008.

Anexo G

Desenho de construção mecânica do tanque N° A-TK 6201 – em CD.



PORMENOR A,
(DETAIL)



NOTA:

PORMENORES E INSPEÇÃO DE
SOLDADURAS SEGUNDO API STD
650, APPENDIX D.

WELDING PROCEDURE AND INSPECTION
AS PER API STD 650, APPENDIX D.

HYDROCARBON RESEARCH, INC.
APPROUVE
DATE: 13 JUL. 1967
SIGNÉ: T. ARVIEUX

ITEM N.º A-TK 6201 ABCD
HE. BT
BT-6200-1141-C
BT-40 007

ARRANGEMENT - DRWGS:
PARA CONJUNTO VER DESENHOS:

1-3-67- <i>U. A. A. A.</i>	SACOR	Protabril Centro de Projectos Industriais LISBOA
2-3-67- <i>Edo. P. A. A.</i>		
	PORTO	
Escalas	CONE ROOF STORAGE TANKS TANQUES DE ARMAZENAGEM TECTO CÔNICO ϕ INT. 24384 (80') INS. DIA. ALT. NCM.10973 (36') HEIGHT CORPO E ANEL DE REFORÇO SHELL AND TOP ANGLE ITEM TK 6201 ABCD	
	Trabalho 1676	Substitui o Substituído pelo

A REVISTO PARA CONSTRUÇÃO

REF.

ALTERAÇÕES

5-6-67

EXECUT.

VISTA

BILL OF
MATERIALS

LISTA DE
MONTAGEM/PECAS

ÍNDICE DE
DESENHOS

Pt 1676/44

Pt 1676/42

Anexo H

Programa de placas para os diversos materiais em Matlab – em CD.